



# UNIVERSIDAD DE LA RIOJA

## TRABAJO FIN DE ESTUDIOS

Título

Diseño de una central hidroeléctrica de bombeo

Autor/es

ÓSCAR HERREROS SÁENZ

Director/es

MONTSERRAT MENDOZA VILLENA y PEDRO MARÍA LARA SANTILLÁN ,

Facultad

Escuela de Máster y Doctorado de la Universidad de La Rioja

Titulación

Máster Universitario en Ingeniería Industrial

Departamento

INGENIERÍA ELÉCTRICA

Curso académico

2018-19



***Diseño de una central hidroeléctrica de bombeo***, de ÓSCAR HERREROS  
SÁENZ

(publicada por la Universidad de La Rioja) se difunde bajo una Licencia Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 3.0 Unported. Permisos que vayan más allá de lo cubierto por esta licencia pueden solicitarse a los titulares del copyright.



**UNIVERSIDAD  
DE LA RIOJA**

# DISEÑO DE UNA CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE BOMBEO

Trabajo fin de máster

Autor: **Óscar Herreros Sáenz**  
Máster universitario en Ingeniería Industrial  
Marzo de 2019, Logroño (La Rioja)

Tutores del trabajo:  
**Montserrat Mendoza Villena**, Departamento de Ingeniería Eléctrica.  
**Pedro María Lara Santillán**, Departamento de Ingeniería Eléctrica.



**UNIVERSIDAD  
DE LA RIOJA**

# DISEÑO DE UNA CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE BOMBEO

Trabajo fin de máster

**Índice general**

Autor: **Óscar Herreros Sáenz**  
Máster universitario en Ingeniería Industrial  
Marzo de 2019, Logroño (La Rioja)

Tutores del trabajo:  
**Montserrat Mendoza Villena**, Departamento de Ingeniería Eléctrica.  
**Pedro María Lara Santillán**, Departamento de Ingeniería Eléctrica.



## ÍNDICE DE LA MEMORIA DESCRIPTIVA

### Índice de contenidos

1. Objeto.....	27
2. Alcance .....	28
3. Antecedentes .....	29
4. Normas y referencias .....	30
4.1. Dispositivos legales y normas aplicadas.....	30
4.2. Programas de cálculo .....	31
4.3. Bibliografía .....	32
5. Definiciones y abreviaturas.....	34
5.1. Definiciones.....	34
5.2. Abreviaturas .....	37
6. Requisitos del diseño.....	40
7. Análisis de soluciones.....	41
8. Resultados finales.....	42
9. Orden de prioridad de documentos.....	44

### Índice de tablas

Tabla 1. Caudal y potencia por grupo.....	42
---	----

## ÍNDICE DE ANEXOS

### Índice de contenidos

10. Energía Hidráulica .....	53
10.1. Energías renovables .....	53
10.2. Situación de las energías renovables .....	53
10.3. Definición de la energía hidráulica .....	55
10.4. Características .....	56
10.5. Clasificación de las centrales hidráulicas .....	56
10.5.1. Centrales de derivación de la corriente .....	56
10.5.2. Centrales de intercepción de la corriente .....	57
10.6. Elementos de captación y conducciones .....	58
10.6.1. Presas o azudes .....	59
10.6.2. Toma de agua .....	59
10.6.3. Canal de derivación .....	59
10.6.4. Cámara de carga .....	60
10.6.5. Tubería forzada .....	60
10.6.6. Sala de máquinas .....	61
10.6.7. Desagües .....	61
10.7. Turbinas .....	61
10.7.1. Turbinas Pelton .....	61
10.7.2. Turbinas Francis .....	62
10.7.3. Turbinas Kaplan .....	63
10.7.4. Regulación de las turbinas .....	63
10.7.4.1. Calibración .....	64
10.7.4.2. Regulación .....	65
10.7.4.3. Protecciones .....	66
10.8. Perspectivas de futuro .....	67
10.9. Ventajas y desventajas .....	67
10.9.1. Ventajas .....	67
10.9.2. Desventajas .....	67
11. Centrales Hidráulicas de Bombeo .....	68
11.1. Definición .....	68
11.2. Características .....	68
11.3. Clasificación de las centrales hidráulicas de bombeo .....	69
12. Alternativas del emplazamiento .....	70

12.1. Alternativa 1: Embalse de Mansilla .....	70
12.2. Alternativa 2: Embalse de González-Lacasa .....	71
12.3. Alternativa 3: Embalse de Pajares.....	72
12.4. Alternativa elegida .....	72
13. Caracterización del embalse inferior.....	74
14. Definición del embalse superior.....	77
14.1. Ubicación del embalse superior .....	77
14.1.1. Zonas Especiales de Conservación de Importancia Comunitaria (ZECIC) .....	77
14.2. Superficie ocupada.....	79
14.3. Capacidad de acumulación.....	79
14.4. Altura de la presa .....	79
14.5. Régimen de funcionamiento .....	80
15. Cálculo de las pérdidas hidráulicas .....	81
15.1. Pérdidas en la tubería forzada .....	82
15.1.1. Pérdidas primarias.....	82
15.1.2. Pérdidas secundarias.....	83
15.2. Pérdidas hidráulicas totales .....	85
16. Diseño de los elementos estructurales .....	86
16.1. Rejas metálicas .....	86
16.2. Chimenea de equilibrio .....	86
16.3. Tubería forzada .....	86
16.4. Desagüe .....	86
16.5. Turbina-Bomba.....	86
17. Cálculo de la potencia hidráulica .....	88
17.1. Dimensionado de las turbinas.....	89
17.1.1. Velocidad específica .....	89
17.1.2. Dimensionado del rodete.....	89
17.1.3. Dimensionado del caracol.....	90
17.1.4. Cavitación .....	91
18. Conjunto motor-alternador.....	92
18.1. Caracterización de la máquina de inducción .....	92
18.2. Máquina asíncrona doblemente alimentada .....	95
18.3. Accesorios de la máquina de inducción .....	96
19. Transformador de tensión .....	97
19.1. Características eléctricas del transformador .....	97
19.1.1. Características internas .....	98

19.2. Rendimiento .....	99
19.3. Características constructivas.....	99
19.4. Transformador para equipos BT .....	100
19.5. Accesorios de los transformadores.....	101
20. Cálculo de la energía consumida o generada.....	102
20.1. Conclusiones .....	103
21. Conexión de la instalación .....	104
21.1. Descripción de la instalación.....	104
21.2. Dimensionado de los conductores.....	104
21.2.1. Tramo I: desde la máquina asíncrona hasta el transformador .....	105
21.2.2. Tramo II: desde el transformador hasta la torre de la línea .....	107
21.2.3. Tramo III: desde el lado de 13.8 kV hasta el transformador de servicios auxiliares .....	108
21.3. Protecciones.....	108
21.3.1. Celda 24 kV.....	108
21.3.1.1. Datos Técnicos .....	109
21.3.1.2. Resumen de la estructura .....	110
21.3.1.3. Dispositivo para liberar presión .....	111
21.3.1.4. Enclavamiento secundario de la posición del enchufe y del carro .....	111
21.3.1.5. Dispositivo de indicación eléctrica .....	111
21.3.1.6. Prevención de la condensación.....	111
21.3.1.7. Dispositivo de puesta a tierra .....	111
21.3.1.8. Dispositivos de bloqueo para evitar mal funcionamiento .....	111
22. Conexión a la red.....	114
22.1. Celda GIS 72.5 kV.....	115
22.1.1. Datos técnicos .....	115
22.1.2. Elementos constructivos .....	116
22.1.2.1. Módulo cortacircuitos .....	116
22.1.2.2. Mecanismo de operación.....	117
22.1.2.2.1. Unidad de corte.....	118
22.1.2.2.2. Recorrido de la corriente .....	118
22.1.2.2.3. Operación de ruptura.....	119
22.1.2.2.4. Interrupción de corrientes de falla. ....	119
22.1.2.3. Dispositivos de conmutación de tres posiciones .....	120
22.1.2.3.1. Módulo de alimentación saliente .....	120
22.1.2.3.2. Módulo de barras.....	121

22.1.2.3.3. Seccionadores de buses .....	121
22.1.2.4. Puesta a tierra de alta velocidad interruptor / trabajo en progreso módulo de puesta a tierra .....	122
22.1.2.5. Transformadores para instrumentación .....	122
22.1.2.5.1. Transformador de corriente.....	122
22.1.2.5.2. Transformador de tensión / divisor de tensión .....	123
22.1.2.6. Módulos de conexión.....	123
22.1.2.6.1. Módulos de extensión.....	124
22.1.2.6.2. Módulos T.....	124
22.1.2.6.3. Módulos angulares.....	124
22.1.2.6.4. Módulo de división, unipolar / tripolar .....	124
22.1.2.7. Pararrayos .....	125
22.1.2.8. Módulos terminales .....	125
22.1.2.8.1. Terminación del cable .....	125
22.1.2.8.2. SF6 / terminación de aire .....	126
22.1.2.8.3. Conexión directa de transformadores .....	127
22.1.2.9. Control y seguimiento - control consistente y flexible y protección .....	127
22.1.2.9.1. Control de aparamenta comprobado. ....	127
22.1.2.9.2. Monitoreo de gas .....	128
22.1.2.9.3. Sistema de control y protección flexible y fiable. ....	128
22.1.2.10. Operación y mantenimiento .....	128
23. Estudio de viabilidad .....	130
23.1. Datos de partida para el estudio.....	130
23.2. Cálculos y parámetros determinados .....	130
23.3. Resultados obtenidos.....	132
23.3.1. Factor de utilización de la central como generadora de energía.....	134
23.3.2. Índices de potencia y de energía.....	134
23.4. Conclusiones .....	135

## Índice de imágenes

Imagen 1.	Situación energética mundial.....	54
Imagen 2.	Evolución mundial de la capacidad de producción con energías renovables.....	54
Imagen 3.	Situación energética en España .....	55
Imagen 4.	Contribución de cada tecnología renovable en el consumo energético.....	55
Imagen 5.	Perfil longitudinal de un río.....	56
Imagen 6.	Central de derivación misma longitud y menor pendiente .....	57

Imagen 7.	Central de derivación misma pendiente y diferente longitud .....	57
Imagen 8.	Central de derivación diferente pendiente y longitud .....	57
Imagen 9.	Esquema general de una central hidroeléctrica .....	58
Imagen 10.	Tipos de azudes .....	59
Imagen 11.	Canal de derivación .....	60
Imagen 12.	Tubería forzada .....	60
Imagen 13.	Desagüe de fondo .....	61
Imagen 14.	Ejemplo de turbina Pelton.....	62
Imagen 15.	Ejemplo de turbina Francis.....	63
Imagen 16.	Ejemplo de turbina Kaplan .....	63
Imagen 17.	Esquema regulador en una central hidroeléctrica .....	64
Imagen 18.	Regulación de la turbina.....	65
Imagen 19.	Regulación estática positiva con amortiguamiento .....	65
Imagen 20.	Escala para peces .....	66
Imagen 21.	Esquema general de una central hidroeléctrica de bombeo .....	68
Imagen 22.	Ejemplo de curva de demanda energética diaria.....	69
Imagen 23.	Embalses de la Rioja .....	70
Imagen 24.	Alternativas embalse Mansilla .....	70
Imagen 25.	Perfil de elevación de la alternativa 1 .....	71
Imagen 26.	Alternativas embalse González-Lacasa .....	71
Imagen 27.	Perfil de elevación de la alternativa 2 .....	71
Imagen 28.	Alternativas embalse Pajares .....	72
Imagen 29.	Perfil de elevación de la alternativa 3 .....	72
Imagen 30.	Reserva media anual ordenado.....	75
Imagen 31.	Reservas medias año hidrológico.....	76
Imagen 32.	Ubicación del embalse superior .....	77
Imagen 33.	Zonificación general de la ZECIC.....	78
Imagen 34.	Zonificación de entorno del embalse de Pajares .....	79
Imagen 35.	Demanda energética diaria .....	80
Imagen 36.	Diagrama de Moody .....	82
Imagen 37.	Válvula de compuerta .....	84
Imagen 38.	Toma de agua en el fondo del embalse .....	84
Imagen 39.	Carta de aplicación de turbinas.....	87
Imagen 40.	Balance de potencias de una máquina asíncrona como motor .....	93
Imagen 41.	Balance de potencias de una máquina asíncrona como generador .....	93
Imagen 42.	Esquema sistema de conversión .....	95

Imagen 43.	Circuito equivalente de un transformador.....	98
Imagen 44.	Disposición de los conductores del tramo I .....	105
Imagen 45.	Disposición de los conductores del tramo II .....	107
Imagen 46.	Celda 24kV ET1 .....	110
Imagen 47.	Interruptor VE24 VCB.....	112
Imagen 48.	Parámetros de las dimensiones del interruptor V24 VCB.....	112
Imagen 49.	Dimensiones del interruptor VE24 VCB .....	113
Imagen 50.	Sistema eléctrico en La Rioja .....	114
Imagen 51.	Modelo y esquema unifilar celda GIS 8DN8.....	116
Imagen 52.	Partes de la celda GIS 8DN8 .....	116
Imagen 53.	Módulo cortacircuitos .....	117
Imagen 54.	Mecanismo de operación.....	118
Imagen 55.	Principio de extinción del arco eléctrico .....	119
Imagen 56.	Dispositivo de conmutación de tres posiciones .....	120
Imagen 57.	Módulo de alimentación saliente.....	121
Imagen 58.	Módulo de barras .....	121
Imagen 59.	Seleccionador de buses .....	121
Imagen 60.	Puesta a tierra de alta velocidad.....	122
Imagen 61.	Transformador de corriente.....	122
Imagen 62.	Transformador de tensión.....	123
Imagen 63.	Módulos de conexión .....	124
Imagen 64.	Pararrayos .....	125
Imagen 65.	Terminación cable .....	126
Imagen 66.	SF6 / Terminación de aire .....	126
Imagen 67.	Terminación en tubo para el transformador .....	127
Imagen 68.	Dimensiones y conexión directa al transformador .....	127
Imagen 69.	Ejemplo de celdas GIS con sus equipos de monitoreo.....	129

## Índice de tablas

Tabla 2.	Parámetros de alternativas.....	73
Tabla 3.	Volúmenes medios anuales ordenados.....	74
Tabla 4.	Volúmenes medios año hidrológico.....	76
Tabla 5.	Coeficientes de pérdidas en codos de 90º.....	83
Tabla 6.	Coeficientes de pérdidas en válvulas de compuerta.....	84
Tabla 7.	Características de la máquina asíncrona.....	94

Tabla 8.	Características eléctricas del transformador.....	98
Tabla 9.	Características constructivas del transformador.....	99
Tabla 10.	Características eléctricas transformador equipos BT.....	100
Tabla 11.	Características constructivas transformador equipos BT.....	101
Tabla 12.	Factores de corrección tramo I.....	106
Tabla 13.	Secciones según intensidad máxima admisible (Tramo I).....	106
Tabla 14.	Secciones según caída de tensión (Tramo I).....	106
Tabla 15.	Factores de corrección Tramo II.....	107
Tabla 16.	Secciones según intensidad máxima admisible (Tramo II).....	108
Tabla 17.	Secciones según caída de tensión (Tramo II).....	108
Tabla 18.	Características técnicas de la celda 24 kV ET1.....	109
Tabla 19.	Características técnicas del interruptor VE24 VCB.....	110
Tabla 20.	Datos técnicos de la celda GIS 8DN8.....	115
Tabla 21.	Datos de partida del estudio.....	130
Tabla 22.	Resultados anuales del estudio de viabilidad.....	133
Tabla 23.	Resultados totales del estudio de viabilidad.....	134



## ÍNDICE DE PLANOS

### Índice de contenidos

1. Plano 1: “Emplazamiento embalse superior” .....	138
2. Plano 2: “Perfil de la central hidroeléctrica” .....	139
3. Plano 3: “Sala de máquinas” .....	140
4. Plano 4: “Dimensiones de la turbina Francis” .....	141
5. Plano 5: “Esquema de una máquina asíncrona doblemente alimentada” .....	142
6. Plano 6: “Dimensiones del transformador” .....	143
7. Plano 7: “Dimensiones del transformador para equipos de BT” .....	144
8. Plano 8: “Disposición de los elementos electricos de la central hidroeléctrica en planta” ..	145
9. Plano 9: “Dimensiones de la celda 24 kV ET1” .....	146
10. Plano 10: “Esquema unifilar de la central hidroeléctrica” .....	147

## ÍNDICE DEL PLIEGO DE CONDICIONES

### Índice de contenidos

24. Disposiciones generales .....	154
24.1. Objeto del pliego de condiciones .....	154
24.2. Documentación del contrato de obra .....	154
25. Condiciones facultativas.....	155
25.1. Epígrafe 1: Delimitación general de funciones técnicas .....	155
25.1.1. Director de obra .....	155
25.1.2. Director de ejecución de la obra .....	155
25.1.3. Constructor.....	155
25.2. Epígrafe 2: Obligaciones y derechos generales del constructor o contratista.....	156
25.2.1. Verificación de los documentos del proyecto .....	156
25.2.2. Plan de seguridad e higiene .....	156
25.2.3. Oficina en la obra .....	156
25.2.4. Representación del contratista .....	157
25.2.5. Presencia del constructor en la obra.....	157
25.2.6. Trabajos no estipulados expresamente .....	157
25.2.7. Interpretaciones, aclaraciones y modificaciones de los documentos del proyecto .....	157
25.2.8. Reclamaciones contra las órdenes de la dirección facultativa .....	158
25.2.9. Recusación por el contratista del personal nombrado por el director de la obra .....	158
25.2.10. Falta del personal .....	158
25.3. Epígrafe 3: Prescripciones generales relativas a los trabajos, a los materiales y a los medios auxiliares.....	159
25.3.1. Caminos y accesos.....	159
25.3.2. Replanteo .....	159
25.3.3. Comienzo de la obra. Ritmo de ejecución de los trabajos .....	159
25.3.4. Orden de los trabajos .....	159
25.3.5. Facilidades para otros contratistas .....	159
25.3.6. Ampliación del proyecto por causas imprevistas o de fuerza mayor .....	159
25.3.7. Prorroga por causa de fuerza mayor.....	160
25.3.8. Responsabilidad de la dirección facultativa en el retraso de la obra.....	160
25.3.9. Condiciones generales de ejecución de los trabajos .....	160
25.3.10. Obras ocultas.....	160
25.3.11. Trabajos defectuosos .....	160

25.3.12. Vicios ocultos.....	161
25.3.13. De los materiales y de los aparatos. Su procedencia .....	161
25.3.14. Presentación de muestras.....	161
25.3.15. Materiales no utilizables .....	161
25.3.16. Materiales y aparatos defectuosos .....	161
25.3.17. Gastos ocasionados por pruebas y ensayos.....	162
25.3.18. Limpieza de las obras .....	162
25.3.19. Obras sin prescripciones .....	162
25.4. Epígrafe 4: las recepciones de edificios y obras anejas.....	162
25.4.1. De las recepciones provisionales .....	162
25.4.2. Documentación final de la obra .....	162
25.4.3. Medición definitiva de los trabajos y liquidación provisional de la obra .....	163
25.4.4. Plazo de garantía .....	163
25.4.5. Conservación de las obras recibidas provisionalmente .....	163
25.4.6. De la recepción definitiva.....	163
25.4.7. Prórroga del plazo de garantía .....	163
25.4.8. De las recepciones de trabajos cuya contrata haya sido rescindida.....	163
26. Condiciones económicas .....	164
26.1. Epígrafe 1: Principio general .....	164
26.2. Epígrafe 2 .....	164
26.2.1. Fianzas .....	164
26.2.2. Fianza provisional .....	164
26.2.3. Ejecución de trabajos con cargo a la fianza .....	164
26.2.4. De su devolución en general .....	165
26.2.5. Devolución de la fianza en el caso de efectuarse recepciones parciales.....	165
26.3. Epígrafe 3: de los precios .....	165
26.3.1. Composición de los precios unitarios.....	165
26.3.2. Beneficio industrial.....	165
26.3.3. Precio de ejecución material .....	166
26.3.4. Precio de contrata .....	166
26.3.5. Precios de contrata. Importe de contrata.....	166
26.3.6. Precios contradictorios.....	166
26.3.7. Reclamaciones de aumento de precios por causas diversas .....	166
26.3.8. Formas tradicionales de medir o de aplicar los precios.....	166
26.3.9. De la revisión de los precios contratados .....	166
26.3.10. Acopio de materiales.....	167

26.4. Epígrafe 4: obras por administración .....	167
26.4.1. Administración .....	167
26.4.2. Obra por administración directa .....	167
26.4.3. Obras por administración delegada o indirecta.....	167
26.4.4. Liquidación de obras por administración.....	168
26.4.5. Abono al constructor de las cuentas de administración delegada .....	168
26.4.6. Normas para la adquisición de los materiales y aparatos.....	168
26.4.7. Responsabilidad del constructor en el bajo rendimiento de los obreros .....	169
26.4.8. Responsabilidades del constructor .....	169
26.5. Epígrafe 5: de la valoración y abono de los trabajos .....	169
26.5.1. Formas varias de abono de las obras .....	169
26.5.2. Relaciones valoradas y certificaciones .....	170
26.5.3. Mejoras de obras libremente ejecutadas .....	170
26.5.4. Abono de trabajos presupuestados con partida alzada.....	171
26.5.5. Abono de agotamientos y otros trabajos especiales no contratados.....	171
26.5.6. Pagos .....	171
26.5.7. Abono de trabajos ejecutados durante el plazo de garantía .....	171
26.6. Epígrafe 6: de las indemnizaciones mutuas .....	172
26.6.1. Importe de la indemnización por retraso no justificado en el plazo de terminación de las obras .....	172
26.6.2. Demora de los pagos .....	172
26.7. Epígrafe 7: varios.....	172
26.7.1. Mejoras y aumentos de obra. Casos contrarios.....	172
26.7.2. Unidades de obra defectuosas pero aceptables .....	173
26.7.3. Seguro de las obras .....	173
26.7.4. Conservación de la obra .....	173
26.7.5. Uso por el contratista de edificio o bienes del propietario.....	174
27. Condiciones técnicas particulares .....	175
27.1. Epígrafe 1: condiciones generales.....	175
27.1.1. Calidad de los materiales .....	175
27.1.2. Pruebas y ensayos de materiales .....	175
27.1.3. Materiales no consignados en este proyecto .....	175
27.1.4. Condiciones generales de ejecución .....	175
27.2. Epígrafe 2: condiciones que han de cumplir los materiales.....	175
27.2.1. Materiales para hormigones y morteros .....	175
27.2.2. Acero .....	177

27.2.3. Materiales auxiliares de hormigón.....	177
27.2.4. Desencofrantes .....	177
27.2.5. Encofrados y cimbras .....	177
27.2.6. Aglomerantes excluido cemento .....	178
27.2.7. Materiales de cubierta .....	179
27.2.8. Plomo y cinc .....	179
27.2.9. Materiales para fábrica y forjados .....	179
27.2.10. Materiales para soldados y alicatados .....	180
27.2.11. Carpintería de taller .....	181
27.2.12. Carpintería metálica .....	181
27.2.13. Pintura .....	182
27.2.14. Colores, aceites barnices, etc. ....	182
27.2.15. Fontanería .....	182
27.2.16. Instalaciones eléctricas .....	183
27.3. Epígrafe 3: condiciones para la ejecución de las unidades de obra.....	184
27.3.1. Movimientos de tierras .....	184
27.3.2. Hormigones .....	186
27.3.3. Morteros .....	188
27.3.4. Encofrados.....	189
27.3.5. Armaduras.....	190
27.3.6. Albañilería .....	190
27.3.7. Solados y alicatados .....	193
27.3.8. Carpintería de taller .....	194
27.3.9. Carpintería metálica .....	194
27.3.10. Pintura .....	194
27.3.11. Fontanería .....	195
27.3.12. Instalación eléctrica .....	195
27.3.13. Precauciones a adoptar.....	196
27.4. Epígrafe 4: control de la obra.....	196
27.4.1. Control del hormigón .....	196
28. Anexos.....	197
28.1. Anexo 1: instrucción estructuras de hormigón EHE.....	197
28.1.1. Cemento .....	197
28.1.2. Agua de amasado .....	197
28.1.3. Áridos .....	197
28.2. Anexo 2: condiciones acústicas de los edificios: nbe-ca-88.....	197

28.2.1. Características básicas exigibles a las soluciones constructivas .....	197
28.2.2. Presentación, medidas y tolerancias.....	197
28.2.3. Garantía de las características .....	198
28.2.4. Control, recepción y ensayo de los materiales .....	198
28.2.5. Laboratorios de ensayos .....	199
28.3. Anexo 3: dB si seguridad en caso de incendio .....	199
28.3.1. Exigencias básicas de seguridad en caso de incendio (si) .....	199
28.3.2. Ámbito de aplicación.....	199

## ÍNDICE DEL ESTUDIO BÁSICO DE SEGURIDAD Y SALUD

### Índice de contenidos

29. Objeto del presente estudio básico .....	206
29.1. Objeto del estudio básico de seguridad y salud.....	206
29.2. Establecimiento posterior de un plan de seguridad y salud en la obra .....	206
30. Identificación de la obra.....	207
30.1. Tipo de obra .....	207
30.2. Situación del local de la obra .....	207
30.3. Denominación de la obra .....	207
31. Estudio básico de seguridad y salud.....	208
31.1. Plazo de ejecución estimado.....	208
31.2. Número de trabajadores.....	208
31.3. Relación resumida de los trabajos a realizar.....	208
32. Fases de obra con identificación de riesgos.....	209
32.1. Instalaciones eléctricas alta tensión .....	209
32.2. Instalaciones eléctricas baja tensión.....	209
32.3. Instalaciones mecánicas.....	210
33. Relación de medios humanos y técnicos previstos con identificación de riesgos. ....	211
33.1. Maquinaria .....	211
33.1.1. Bomba de hormigonado.....	211
33.1.2. Camión con caja basculante.....	211
33.1.3. Camión grúa .....	211
33.1.4. Carretillas elevadoras.....	211
33.1.5. Compresor .....	211
33.1.6. Cortadora de pavimento .....	211
33.1.7. Hormigonera .....	213
33.1.8. Martillo rompedor.....	213
33.2. Medios de transporte.....	213
33.2.1. Carretilla manual.....	213
33.3. Medios auxiliares .....	213
33.3.1. Andamios móviles .....	213
33.4. Herramientas.....	214
33.4.1. Atornilladores con y sin alimentador .....	214
33.4.2. Chequeador portátil de la instalación .....	214
33.4.3. Compresor .....	214

33.4.4. Grupo de soldadura.....	214
33.4.5. Martillo picador eléctrico.....	214
33.4.6. Pulidora .....	215
33.4.7. Sierra .....	215
33.4.8. Soldador sellador de juntas.....	216
33.4.9. Taladradora .....	216
33.4.10. Caja completa de herramientas de mecánico.....	216
33.4.11. Herramientas y equipos eléctricos para at y bt .....	216
33.4.12. Caja completa de herramientas dieléctricas homologadas .....	216
33.5. Tipos de energía a utilizar .....	216
33.5.1. Electricidad.....	216
33.5.2. Motores eléctricos .....	216
33.6. Materiales .....	217
33.6.1. Aguas .....	217
33.6.2. Anclajes de cable o barra de acero de alta resistencia .....	217
33.6.3. Apuntalamientos, cimbras .....	217
33.6.4. Bandejas, soportes .....	217
33.6.5. Barnices y pinturas .....	217
33.6.6. Cables de conducción de radiofrecuencia (coaxiales, bipolares) y accesorios .....	217
33.6.7. Cables tensores (vientos) .....	217
33.6.8. Cables, mangueras eléctricas y accesorios .....	217
33.6.9. Cajetines, regletas, anclajes, prensacables .....	218
33.6.10. Cemento .....	218
33.6.11. Chapas metálicas y accesorios .....	218
33.6.12. Chatarras .....	218
33.6.13. Cinta adhesiva .....	218
33.6.14. Cuñas y calzos.....	218
33.6.15. Disolventes, desengrasantes, desoxidantes.....	218
33.6.16. Escombros .....	218
33.6.17. Espárragos .....	218
33.6.18. Grapas, abrazaderas y tornillería .....	219
33.6.19. Guías, sopandas y herrajes.....	219
33.6.20. Hormigón, mortero .....	219
33.6.21. Junquillos de madera y metálicos, perfiles de goma .....	219
33.6.22. Juntas .....	219
33.6.23. Luminarias, soportes báculos, columnas, etc .....	219



33.6.24. Madera .....	219
33.6.25. Mallazo .....	219
33.6.26. Perfiles.....	219
33.6.27. Pinturas .....	220
33.6.28. Placas de distintos materiales (fibrocemento, policarbonato, PVC, chapa metálica, etc).....	220
33.6.29. Placas y plafones de revestimiento en escayolas y otros materiales ligeros (madera, etc).....	220
33.6.30. Separadores de junta .....	220
33.6.31. Siliconas, masillas y cementos químicos .....	220
33.6.32. Soportes, mástiles, torretas .....	220
33.6.33. Tableros .....	220
33.6.34. Tornillería .....	220
33.6.35. Trapos.....	221
33.6.36. Tuberías en distintos materiales (cobre, hierro, PVC, fibrocemento, hormigón) y accesorios.....	221
33.6.37. Tubos de conducción (corrugados, rígidos, etc.) .....	221
33.6.38. Tubos metálicos para inyección, conectores .....	221
33.6.39. Viguetas.....	221
33.6.40. Yesos, estopas y alambres.....	221
33.7. Mano de obra, medios humanos .....	221
34. Medidas de prevención de los riesgos .....	223
34.1. Protecciones colectivas .....	223
34.1.1. Generales .....	223
34.1.2. Instalaciones mecánicas.....	225
34.1.3. Instalaciones eléctricas alta tensión .....	226
34.1.4. Instalaciones eléctricas baja tensión.....	227
34.2. Equipos de protección individual (EPIS).....	228
34.2.1. Afecciones en la piel por dermatitis de contacto.....	228
34.2.2. Quemaduras físicas y químicas .....	228
34.2.3. Proyecciones de objetos y/o fragmentos .....	228
34.2.4. Ambiente pulvígeno .....	229
34.2.5. Aplastamientos.....	229
34.2.6. Atmósferas tóxicas, irritantes .....	229
34.2.7. Atrapamientos.....	229
34.2.8. Caída de objetos y/o de máquinas.....	229
34.2.9. Caída o colapso de andamios.....	229

34.2.10. Caídas de personas a distinto nivel .....	229
34.2.11. Caídas de personas al mismo nivel .....	229
34.2.12. Contactos eléctricos directos .....	229
34.2.13. Contactos eléctricos indirectos .....	229
34.2.14. Cuerpos extraños en ojos.....	229
34.2.15. Exposición a fuentes luminosas peligrosas .....	230
34.2.16. Golpe por rotura de cable .....	230
34.2.17. Golpes y/o cortes con objetos y/o maquinaria .....	230
34.2.18. Pisada sobre objetos punzantes.....	230
34.2.19. Inundaciones. ....	230
34.2.20. Vibraciones.....	230
34.2.21. Sobreesfuerzos .....	230
34.2.22. Ruido .....	230
34.2.23. Vuelco de máquinas y/o camiones .....	230
34.2.24. Caída de personas de altura.....	230
34.3. Protecciones especiales .....	231
34.3.1. Generales .....	231
34.3.2. Instalaciones eléctricas alta tensión .....	232
34.3.3. Instalaciones eléctricas baja tensión.....	233
34.4. Normativa a aplicar en las fases del estudio .....	233
34.4.1. Normativa general.....	233
34.4.2. Disposiciones mínimas de seguridad y de salud que deberán aplicarse en las obras .....	236
34.4.3. Instalaciones eléctricas alta y baja tensión .....	237
34.5. Mantenimiento preventivo .....	238
34.5.1. Vías de circulación y zonas peligrosas.....	238
34.5.2. Mantenimiento de la maquinaria y equipos .....	239
34.5.3. Mantenimiento de la maquinaria en el taller de obra .....	239
34.5.4. Mantenimiento de los neumáticos .....	239
34.5.5. Mantenimiento preventivo general .....	240
34.5.6. Instalaciones eléctricas alta tensión .....	241
34.5.7. Instalaciones eléctricas baja tensión.....	241

## Índice de tablas

Tabla 24. Niveles mínimos de iluminación por zonas de trabajo.....	224
--	-----

## ÍNDICE DEL PRESUPUESTO

### Índice de contenidos

35. Desglose .....	244
36. Resumen del presupuesto.....	246
37. Presupuesto de ejecución material.....	247
38. Presupuesto de ejecución por contrata .....	248

### Índice de tablas

Tabla 25. Desglose del presupuesto.....	245
Tabla 26. Resumen del presupuesto.....	246
Tabla 27. Presupuesto de ejecución material.....	247
Tabla 28. Presupuesto de ejecución por contrata.....	248



**UNIVERSIDAD  
DE LA RIOJA**

# DISEÑO DE UNA CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE BOMBEO

Trabajo fin de máster

**Resumen**

Autor: **Óscar Herreros Sáenz**  
Máster universitario en Ingeniería Industrial  
Marzo de 2019, Logroño (La Rioja)

Tutores del trabajo:  
**Montserrat Mendoza Villena**, Departamento de Ingeniería Eléctrica.  
**Pedro María Lara Santillán**, Departamento de Ingeniería Eléctrica.

## Resumen

Las energías renovables tienen cada vez un papel más importante en el sistema eléctrico de las naciones. En lo referido a la energía hidroeléctrica, las centrales hidroeléctricas permiten el aprovechamiento de los recursos hídricos en movimiento de la superficie terrestre para generar energía eléctrica mediante el empleo de turbinas, existiendo diferentes tipologías de centrales. Dentro de esta tipología se enmarcan las centrales hidroeléctricas reversibles o de bombeo, caracterizadas por ser uno de los pocos métodos de acumulación de energía actuales.

En el estudio de viabilidad en el que consiste el presente trabajo se definen los diferentes componentes la central hidroeléctrica reversible, en su mayoría los que afecten a la generación eléctrica. La central se ubica en la comunidad autónoma de La Rioja.

Puesto que una central hidrológica de bombeo requiere de dos embalses se escoge un embalse ya existente como inferior y se diseña y ubica el superior. Cumpliendo con los requisitos de diseño (altura y caudal) de este tipo de centrales se dimensionan los elementos constructivos de la central, desde la toma aguas hasta la sala de máquinas, incluyendo las turbinas reversibles y el número de grupos necesarios de la central según la potencia hidráulica a desarrollar.

En cuanto a los equipos eléctricos, se incorporan máquinas eléctricas reversibles encargadas tanto de la generación de energía como del bombeo de agua el embalse superior, según el régimen de funcionamiento. La energía generada o consumida es adaptada a los niveles de tensión de trabajo mediante los transformadores. Asimismo, el conexionado entre los diferentes elementos, y sus protecciones, también queda determinados.

Por último, la conexión de la central con el sistema eléctrico se plantea a un apoyo de una línea aérea que deberá discurrir desde una subestación cercana hasta el centro de transformación de la central, quedando dicha línea sin dimensionar.

## Abstract

Renewable energies increasingly have a more important role in the electrical system of nations. In relation to hydroelectric power, hydroelectric plants allow the use of water resources on the land surface to generate electricity through the use of turbines, using different types of power plants with several technologies. Reversible hydroelectric or pumped storage power plants are included in this typology, and are characterized for being one of the few current methods of energy storage.

In the feasibility study in which the present work consists, the different components of the reversible hydroelectric plant are defined, mostly those that affect electricity generation. The plant is located in the autonomous community of La Rioja.

Since a pumped-hydro-storage plant requires two reservoirs, an already existing reservoir is selected as inferior and the upper reservoir is designed and located. In compliance with the design requirements (height and flow) of this type of plant, the construction elements of the plant are dimensioned, from the water connection to the engine room, including the reversible turbines and the number of necessary groups of the plant according to the hydraulic power to be developed.

In terms of electrical equipments, asynchronous electric machines are used. These machines can work bidirectionally and are the elements responsible of the power generation and of water pumping to the upper reservoir, according to the operation regime. The energy generated or consumed is adapted to the voltage levels through the transformers. Also, the connection between the different elements and their protections are determined.

Finally, the connection of the power plant to the electrical system is posed to an electric tower of an overhead power line that must run from a nearby substation to the center of transformation of the plant. The overhead power line is not dimensioned.



**UNIVERSIDAD  
DE LA RIOJA**

# DISEÑO DE UNA CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE BOMBEO

Trabajo fin de máster

**Memoria**

Autor: **Óscar Herreros Sáenz**  
Máster universitario en Ingeniería Industrial  
Marzo de 2019, Logroño (La Rioja)

Tutores del trabajo:  
**Montserrat Mendoza Villena**, Departamento de Ingeniería Eléctrica.  
**Pedro María Lara Santillán**, Departamento de Ingeniería Eléctrica.

## Índice de contenidos

1. Objeto.....	27
2. Alcance .....	28
3. Antecedentes .....	29
4. Normas y referencias .....	30
4.1. Dispositivos legales y normas aplicadas.....	30
4.2. Programas de cálculo .....	31
4.3. Bibliografía .....	31
5. Definiciones y abreviaturas .....	34
5.1. Definiciones.....	34
5.2. Abreviaturas .....	37
6. Requisitos del diseño.....	40
7. Análisis de soluciones.....	41
8. Resultados finales.....	42
9. Orden de prioridad de documentos.....	44

## Índice de tablas

Tabla 1.    Caudal y potencia por grupo	42
---	----



## 1. Objeto

El objeto de este trabajo de fin de máster en ingeniería industrial no es otro que la realización de un estudio de viabilidad en el diseño e implantación de una central de generación hidroeléctrica de acumulación de bombeo. Así, con la caracterización de la misma desde el punto de vista eléctrico, se realiza el presente documento con el que se finalizan mis estudios post-universitarios.

## 2. Alcance

En el diseño de la central de acumulación de bombeo, dentro del estudio de viabilidad a llevar a cabo, el alcance se establece hasta la conexión de la central generadora con la red eléctrica, planteándose cual y en qué condiciones se realizaría, sin dimensionamiento alguno de la línea.

De esta manera, el estudio va a estar constituido de los siguientes documentos, a saber:

- Memoria descriptiva
- Anexos
- Planos
- Pliego de condiciones
- Estudio básico de seguridad y salud
- Presupuesto

Con los diferentes documentos constitutivos del trabajo final se abarca la caracterización de la central hasta el alcance establecido, dividiéndose cada documento en capítulos y subcapítulos. Dentro de esta caracterización, se describen aspectos tales como una introducción a la energía hidráulica y a las centrales hidroeléctricas de acumulación de bombeo o reversibles, la definición y el diseño de los diferentes componentes de la central y elementos eléctricos, hasta cubrir todos los elementos que permitan llegar a una conclusión acerca de la viabilidad económica de la central diseñada.

### 3. Antecedentes

Los antecedentes del presente estudio se engloban dentro de situación de la generación de energía hidroeléctrica y de los recursos hidráulicos disponibles.

En la comunidad autónoma de La Rioja, donde se plantea este estudio, existen varias centrales de generación hidráulicas, tanto de desviación de la corriente como a pie de presa, de mayor o menor potencia instalada. En lo que concierne a este trabajo, que son las centrales de hidroeléctricas de intercepción de la corriente, existen en la actualidad un total de 4 centrales, a saber: embalse de Leiva, embalse de Mansilla, embalse de González-Lacasa y el recién acabado embalse de Enciso.

En lo que se refiere a los recursos hídricos, el hecho de buscar el aprovechamiento de un embalse ya existente para emplearlo como embalse inferior de la central, hizo que se optase por su ubicación en el embalse de Pajares. Este embalse, con una capacidad máxima de 35 Hm<sup>3</sup>, tiene como función esencial y única el abastecimiento de agua, por lo que no se emplea para la generación de energía, además de presentar un relieve del entorno apropiado para la instalación de una central de acumulación reversible.

## 4. Normas y referencias

### 4.1. Dispositivos legales y normas aplicadas

- MT-2.00.03 edición 00 marzo 2003 “Procedimiento de selección y adaptación del calibre de los fusibles de MT para central de transformación”.
- MT-2.13.40 edición 02 abril 2003 “Normativa particular para instalaciones de clientes en AT”.
- Ley de prevención de riesgos laborales (ley 31/95 de 8/11/95).
- Reglamento de los servicios de prevención (R.D. 39/97 de 7/1/97).
- Disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo (R.D.485/97 de 14/4/97).
- Disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo (R.D. 486/97 de 14/4/97).
- Disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la manipulación de cargas que entrañen riesgos, en particular dorsolumbares, para los trabajadores (R.D. 487/97 de 14/4/97).
- Protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes biológicos durante el trabajo (R.D. 664/97 de 12/5/97).
- Disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual (R.D. 773/97 de 30/5/97).
- Disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo (R.D. 1215/97 de 18/7/97).
- Ordenanza general de higiene y seguridad en el trabajo (O.M. de 9/3/71) exclusivamente su capítulo VI, y art. 24 y 75 del capítulo VII.
- Reglamento general de seguridad e higiene en el trabajo (OM de 31/1/40) exclusivamente su capítulo VII.
- Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido.
- Norma UNE 81 707 85 Escaleras portátiles de aluminio simples y de extensión.
- Norma UNE 81 101 85 Equipos de protección de la visión. Terminología. Clasificación y uso.
- Norma UNE 81 250 80 Guantes de protección. Definiciones y clasificación.
- Norma UNE 81 304 83 Calzado de seguridad. Ensayos de resistencia a la perforación de la suela.
- Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión de R.D. 842/2002 de 2 de agosto e Instrucciones MIBT, así como las disposiciones complementarias.
- Ley 82/1.980 de 30 de diciembre sobre conservación de la Energía y disposiciones que la desarrollan.
- R.D. 916/1.985 de 25 de mayo.
- Ley 40/1994 de 30 de diciembre de Ordenación del Sistema Eléctrico Nacional.
- R.D. 661/2007, de 25 de mayo, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial.
- Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en instalaciones eléctricas de alta tensión y sus instrucciones técnicas complementarias ITC-RAT 01 al 23
- R.D 413/2014, de 6 de junio, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables, cogeneración y residuos.

#### 4.2. Programas de cálculo

Para la realización del presente documento, de los cálculos o planos del mismo, se han empleado una serie de programas, a saber:

- Microsoft Excel
- AutoCAD 2D
- Google Earth

#### 4.3. Bibliografía

A continuación, se indican algunos enlaces web de interés, así como otras fuentes como apuntes o libros, empleados para recopilar información.

- Ingeniería mecafenix: “Servomotor: ¿Qué es y cómo funciona?”.  
<http://www.ingmecafenix.com/electricidad-industrial/servomotor/>
- iagua: “El año hidrológico”.  
<https://www.iagua.es/blogs/ma-luisa-moreno-santaengracia/ano-hidrologico>
- Ministerio para la transición ecológica “La Red Natura 2000 en España”.  
[https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/temas/espacios-protegidos/red-natura-2000/rn\\_espana.aspx](https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/temas/espacios-protegidos/red-natura-2000/rn_espana.aspx)
- Gobierno de La Rioja: “Red Natura 2000”.  
<https://www.larioja.org/medio-ambiente/es/espacios-naturales-protegidos/red-natura-2000>
- Aguamarket: “Velocidad específica, bomba”.  
<https://www.aguamarket.com/diccionario/terminos.asp?Id=3663>
- Diccionario Real Academia de Ingeniería: “Velocidad periférica”.  
<http://diccionario.raing.es/es/lema/velocidad-perif%C3%A9rica>
- IDMA: Instituto del medio ambiente: “Situación global de las energías renovables”.  
<http://www.idma.cl/2018/06/06/situacion-global-de-las-energias-renovables/>
- GESTAR: “Energías renovables I: perspectivas globales y situación local”.  
<http://gestar.org.ar/nota/ver/id/1305>
- IDAE: “Energías renovables”.  
<http://www.idae.es/tecnologias/energias-renovables>
- Ecovive: “Elementos principales de un central hidroeléctrica”.  
<https://ecovive.com/elementos-principales-de-una-central-hidroelectrica/>
- IDAE: “Manuales de energías renovables: Minicentrales hidroeléctricas”.  
[http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos\\_2.1.7\\_Minicentrales\\_hidroelectricas\\_125f6cd9.pdf](http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_2.1.7_Minicentrales_hidroelectricas_125f6cd9.pdf)

- Foro nuclear: Foro de la Industria Nuclear Española: “Qué es un central hidroeléctrica?”.  
<https://www.foronuclear.org/es/100957-faqas-sobre-energia/capitulo-8/115751-105-ique-es-una-central-hidroelectrica>
- Eidualter: “Las fuentes de energía: renovables o agotables”.  
[http://www.edualter.org/material/consumo/energia4\\_1.htm](http://www.edualter.org/material/consumo/energia4_1.htm)
- EcuRed: “Turbina hidráulica”.  
[https://www.ecured.cu/Turbina\\_hidr%C3%A1ulica](https://www.ecured.cu/Turbina_hidr%C3%A1ulica)
- Molecor: Orienting the future: “Pérdidas de carga”.  
<http://molecor.com/es/perdidas-carga>
- Erisa, Electrificaciones Riojanas S.A: “Alta y Media tensión”.  
<http://www.erisa.es/alta-y-media-tension>
- WEG: “Catálogos de motores de inducción media tensión trifásicos”.  
[https://www.weg.net/catalog/weg/ES/es/Motores-El%C3%A9ctricos/Motores-de-Inducci%C3%B3n---Media-Alta-Tensi%C3%B3n/Motores-de-Inducci%C3%B3n-Trif%C3%A1sico/Motores-IEC/c/EU\\_MT\\_HV\\_IEC](https://www.weg.net/catalog/weg/ES/es/Motores-El%C3%A9ctricos/Motores-de-Inducci%C3%B3n---Media-Alta-Tensi%C3%B3n/Motores-de-Inducci%C3%B3n-Trif%C3%A1sico/Motores-IEC/c/EU_MT_HV_IEC)
- General Electric: “Soluciones hidroeléctricas grandes”.  
<https://www.ge.com/renewableenergy/hydro-power/large-hydropower-solutions>
- WEG: “Catálogos de transformadores de distribución en aceite de 3001 a 50000 kVA”.  
[https://www.weg.net/catalog/weg/BR/es/Generaci%C3%B3n%2CTransmisi%C3%B3n-y-Distribuci%C3%B3n/Transformadores-y-Reactores-en-Aceite/Transformador-de-Poder-en-Aceite/3-001-a-50-000-kVA/c/GTD\\_TO\\_TOP\\_PEQ](https://www.weg.net/catalog/weg/BR/es/Generaci%C3%B3n%2CTransmisi%C3%B3n-y-Distribuci%C3%B3n/Transformadores-y-Reactores-en-Aceite/Transformador-de-Poder-en-Aceite/3-001-a-50-000-kVA/c/GTD_TO_TOP_PEQ)
- WEG: “Catálogos de transformadores de poder en aceite de 30 a 300 kVA”.  
<https://www.weg.net/catalog/weg/BR/es/Generaci%C3%B3n%2CTransmisi%C3%B3n-y-Distribuci%C3%B3n/Transformadores-y-Reactores-en-Aceite/Transformador-de-Distribuci%C3%B3n-en-Aceite/30-a-300-kVA/Transformador-Aceite-30-0kVA-13-8-0-22kV-CST-ONAN/p/14093555>
- Catálogo Siemens: “Gas-insulated switchgear type series 8DN8 up to 170 kV, 63 kA, 4000A”  
[https://www.energy.siemens.com/hq/pool/hq/power-transmission/high-voltage-substations/gas-insulated-switchgear/8dn8-switchgear-upto-145kv/downloads/EN\\_E50001\\_G620\\_A122\\_V1.pdf](https://www.energy.siemens.com/hq/pool/hq/power-transmission/high-voltage-substations/gas-insulated-switchgear/8dn8-switchgear-upto-145kv/downloads/EN_E50001_G620_A122_V1.pdf)
- Catálogo EATON: “24kV ET1 Removable AC Metal-enclosed Switchgear with VE24 Encapsulated Pole Vacuum Circuit Breaker”  
<https://www.eaton.com/content/dam/eaton/products/medium-voltage-power-distribution-control-systems/24kvet1/Eaton-24kV-ET1-Catalog-EN-US.pdf>

- Economipedia: haciendo fácil la economía “Valor Actual Neto (VAN)”  
<https://economipedia.com/definiciones/valor-actual-neto.html>
- Siemens: “Gas-Insulated switchgear”  
<https://new.siemens.com/global/en/products/energy/high-voltage/hv-switchgear/gas-insulated.html>
- MESA. Energy Solutions, soluciones en Media y Alta Tensión: “Seccionadores y pantógrafos en alta tensión”  
<http://www.mesa.es/es/categoria/seccionadores-y-pantografos-de-at#prettyPhoto>
- “Proyecto eléctrico para una central hidroeléctrica en Ligüerzana (Palencia)”. Universidad de Cantabria  
<https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/9196/387049.pdf?sequence=1>
- “Almacenamiento de energía: Centrales Hidráulicas reversibles” Iberdrola (Octubre 2014)
- Apuntes de la asignatura “Máquinas eléctricas I” del Grado en ingeniería eléctrica de la Universidad de La Rioja.
- Apuntes de la asignatura “Generación de energía eléctrica II” del Grado en ingeniería eléctrica de la Universidad de La Rioja.
- Apuntes de la asignatura “Diseño de sistemas de generación basados en fuentes renovables y alternativas” del Grado en ingeniería eléctrica de la Universidad de La Rioja.
- Apuntes de la asignatura “Proyectos” del Grado en ingeniería eléctrica de la Universidad de La Rioja.
- Apuntes de la asignatura “Sistemas de energía eléctrica” del Máster universitario en ingeniería industrial de la Universidad de La Rioja.
- Apuntes de la asignatura “Instalaciones industriales” del Máster universitario en ingeniería industrial de la Universidad de La Rioja.
- Apuntes de la asignatura “Energías renovables I” del Máster universitario en ingeniería industrial de la Universidad de La Rioja.
- Apuntes de la asignatura “Energías renovables II” del Máster universitario en ingeniería industrial de la Universidad de La Rioja.
- “Energías renovables. Energía hidroeléctrica” (2ª edición)
  - Autor/coordinador: José Francisco Sanz Osorio
  - Colección textos docentes
  - Prensas de la Universidad (Universidad de Zaragoza)

## 5. Definiciones y abreviaturas

### 5.1. Definiciones

- **Central hidroeléctrica:** aquella central que aprovecha la energía potencial existente en el agua, en un embalse o elevada por un azud, para convertirla en energía cinética aplicada sobre un rotor de un generador para ser posteriormente transformada en energía eléctrica.
- **Fuentes de energía:** compuestos o fenómenos capaces de suministrar energía útil, ya sea directamente o mediante alguna tipo de transformación. También se denominan energías primarias.
- **Energía undimotriz:** energía proveniente del movimiento aleatorio de las olas en la superficie del mar, debido a la acción del viento. Se trata de una fuente con una tecnología de explotación en desarrollo y con potencial relevante de cara al futuro.
- **Energía mareomotriz:** aquella energía cuyo origen se encuentra en los cambios del nivel del mar fruto de las mareas. Su explotación, con gran potencial, puede realizarse o bien aprovechando la energía cinética o la potencial existente en las mareas.
- **Energía geotérmica:** consiste en el aprovechamiento de la energía proveniente del interior de la Tierra que llega hasta la superficie. Tiene tanto aplicaciones de climatización como de generación de electricidad, siendo más extendida la primera de ellas.
- **Ciclo hidrológico:** corresponde con el curso que sigue el agua sobre la superficie terrestre, teniendo su origen en el Sol.
- **Turbina hidráulica:** elemento mecánico capaz de transformar la energía cinética y potencial del agua en movimiento en un movimiento de rotación, que acoplado a un eje de un generador, genera energía eléctrica.
- **Bomba hidráulica:** elemento mecánico capaz de impulsar un elemento líquido, como por ejemplo agua o aceite, desde una ubicación a otra consumiéndose para ello algún tipo de energía, como eléctrica.
- **Pérdidas hidráulicas:** pérdida de presión en un fluido debida a la fricción de las partículas del elemento contra las paredes del conducto por el que circulan y entre sí mismas.
- **Sedimentación:** proceso de deposición de partículas sólidas en suspensión en un determinado fluido, siendo por lo general aire o agua.
- **Decantación:** técnica de separación de un sólido mezclado heterogéneamente con un cierto líquido o también dos fluidos inmiscibles, es decir, que no se pueden mezclar de modo homogéneo, pues poseen densidades diferentes.



- **Golpe de ariete:** también denominado pulso de Zhuhowski, consiste en un cambio brusco de la presión, aumentándose, producido por una variación rápida de la velocidad del caudal de un conducto o tubería.
- **Cavitación:** proceso físico en el cual un líquido pasa a estado gaseoso, bajo unas determinadas condiciones, para volver tras un breve periodo a su estado origen. Fruto de este efecto se producen cavidades de vapor en el fluido, las cuales impresionan las paredes del conductor por donde fluye, debido a que la presión interna es menor a la externa.
- **Caudal de equipamiento:** caudal que debe circular por una central hidroeléctrica para que su producción de energía sea óptima. Consiste en el caudal circulante menos el caudal ecológico, el mínimo que debe fluir por el curso del río para mantener la vida fluvial invariable.
- **Salto hidráulico:** diferencia de altura entre una cota superior y una inferior del agua aprovechable, en parte, para la generación de energía eléctrica en centrales hidráulicas, sirviéndose de la energía potencial existente.
- **Salto neto:** salto real aprovechable del agua para la generación eléctrica. Es el resultado de restar las diferentes pérdidas hidráulicas de los elementos de la central al salto bruto original.
- **Servomotor:** dispositivo electromecánico, constituido por un motor eléctrico DC, una tarjeta de control y un juego de engranes, cuya posición puede controlarse de tal modo que pueda estar en cualquier posición dentro de un determinado rango, con gran precisión.
- **Centrales de energía base:** aquellas centrales cuyo fin es el de suministrar el sistema energía eléctrica de manera ininterrumpida. Se definen por ser centrales de alta potencia instalada, siendo generalmente centrales nucleares, térmicas (carbón, gas...) e hidráulicas.
- **Horas valle:** corresponden con las horas de menor consumo energético del día.
- **Horas punta:** corresponden con las horas de mayor consumo eléctrico del día.
- **Año hidrológico:** periodo de tiempo de doce meses adaptado a la realidad hidrológica natural, de periodos de mayor abundancia de agua en la superficie y otros de menor cantidad, de modo tal que el éste empieza el 1 de octubre y termina el 30 de septiembre.
- **Plan Natura 2000:** red ecológica europea constituida basada en la política de conservación de la naturaleza de la Directiva Hábitats, de la Comunidad Europea. Así esta red de espacios naturales engloba las Zonas de Especial conservación (ZEC) y las Zonas de Especial Protección para las Aves (ZEPA)

- **Pérdidas primarias:** tipología de pérdidas hidráulicas o de carga originadas cuando el fluido entra en contacto con la superficie de una tubería, provocándose el rozamiento de unas capas con otras (flujo laminar) o entre las partículas del líquido (flujo turbulento). Se producen en tuberías de diámetro constante en tramos horizontales.
- **Pérdidas secundarias:** tipología de pérdidas hidráulicas, o de carga, causadas por la aparición de cambios en la tubería, como un cambio en el diámetro, o de elementos tales como válvulas o codos.
- **Velocidad específica:** velocidad de giro, en revoluciones por minuto, en la que un impulsor debería funcionar, al reducirse en tamaño, para enviar una capacidad de una unidad de flujo contra una unidad de carga total.
- **Velocidad periférica:** velocidad de la zona exterior de los elementos en rotación, expresándose en medida de longitud por unidad de tiempo.
- **Velocidad de sincronismo:** velocidad de giro del campo magnético en el entrehierro de una máquina eléctrica asíncrona trifásica. Su valor, en rpm, es función de la frecuencia de trabajo y del número de pares de polos de la máquina.
- **Polos:** elementos generadores del campo magnético necesario para el funcionamiento de una máquina eléctrica rotativa. Consisten en núcleos de hierro sobre los que se enrollan unas bobinas. Su polaridad puede ser norte o sur, dispuestos alternativamente en la máquina, siendo su número siempre par, por lo que también es posible hablar de pares de polos.
- **Máquina asíncrona:** también denominada como máquina de inducción, se trata de una máquina de corriente alterna en la que el rotor posee una velocidad de rotación inferior a la del campo magnético del estator, dependiendo además de la carga de trabajo. Son máquinas eléctricas reversibles, es decir, que pueden trabajar tanto como motor como generador. Pueden ser máquinas asíncronas de jaula de ardilla o de rotor bobinado.
- **Máquina síncrona:** máquina eléctrica rotativa constituida por una parte móvil llamada rotor, excitado por corriente continua, y una parte fija llamada estator, por la que circula corriente alterna. Se caracteriza porque la velocidad de giro del rotor debe coincidir con la velocidad del campo magnético en régimen permanente.
- **Multiplicador de velocidad:** sistema mecánico de transmisión de velocidades de tal modo que la velocidad de salida sea superior a la de entrada. Es lo opuesto a un reductor de velocidad, donde la velocidad de salida es inferior a la de entrada. Físicamente ambos tienen la misma constitución, formados por un juego de engranajes determinado.
- **Convertidor trifásico:** dispositivo electrónico con la capacidad de transformar la corriente alterna en continua o viceversa, continua en alterna. El dispositivo del primer caso se conoce como rectificador, mientras que el segundo se denomina inversor. También puede entenderse como convertidor trifásico a un dispositivo que primero realiza la función como rectificador y luego la inversión de la corriente.

- **Potencia aparente:** corresponde con la potencia total consumida por la carga, siendo obtenida como fruto del producto de la tensión e intensidad eficaces, o como la suma vectorial de la potencia activa y reactiva. Su unidad de medida es el voltamperio (VA).
- **Intensidad máxima admisible:** máxima intensidad de corriente que puede circular por un determinado conductor sin que éste sufra daño alguno. Corresponde con un valor clave a la hora de determinar la sección de los conductores de una instalación, y se ve influenciada según una serie de características tales como el material de aislamiento o el ambiente donde se ubique el conductor.
- **VAN:** criterio de inversión basado en la actualización de pagos y cobros de una inversión con el fin de conocer cuáles serán las pérdidas o beneficios obtenidos finales.
- **Palonniers:** parte transversal ubicada en la parte delantera de una máquina o vehículo, fijándose sus extremos en las líneas.
- **Litopón:** pigmento natural de óxido de Zinc. Se caracteriza por no ser tóxico además de tener una capacidad de cubrimiento bastante buena, lo que hace que se aplique para fines artísticos o pictóricos.

## 5.2. Abreviaturas

- **kg:** kilogramos
- **m:** metros
- **km:** kilómetros
- **cm:** centímetros
- **mm:** milímetros
- **m<sup>2</sup>:** metros cuadrados
- **mm<sup>2</sup>:** milímetros cuadrados
- **m<sup>3</sup>:** metros cúbicos
- **Hm<sup>3</sup>:** hectómetros cúbicos
- **h:** horas
- **s:** segundos
- **W:** vatios
- **kW:** kilovatios
- **MW:** megavatios
- **Ws:** vatio segundo
- **Wh:** vatios hora
- **kWh:** kilovatios hora
- **MWh:** megavatios hora
- **GWh:** gigavatios hora
- **$\rho$ :** densidad del agua ( $\text{kg/m}^3$ )
- **g:** gravedad ( $\text{m/s}^2$ )
- **v:** velocidad ( $\text{m/s}$ )
- **n:** velocidad de giro
- **rpm:** revoluciones por minuto
- **CO<sub>2</sub>:** dióxido de carbono

- **CHE:** Conferencia Hidrográfica del Ebro
- **Vol:** volumen
- **S:** superficie
- **H:** altura o salto
- **$\Delta H$ :** variación del salto
- **Q:** caudal
- **t:** tiempo
- **D:** diámetro
- **r:** radio
- **$\xi$ :** coeficiente de pérdidas
- **P:** potencia activa
- **I:** intensidad de corriente
- **U:** tensión
- **A:** amperios
- **kA:** kiloamperios
- **V:** voltios
- **kV:** kilovoltios
- **$\eta$ :** rendimiento
- **E:** energía
- **S:** potencia aparente
- **f:** frecuencia
- **Hz:** hertzios
- **Ind:** inductivo
- **Trafo:** transformador
- **$^{\circ}\text{C}$ :** grados Celsius o centígrados
- **dB:** decibelios
- **pC:** picoculombios
- **AT:** alta tensión
- **MT:** media tensión
- **BT:** baja tensión
- **K:** grados Kelvin
- **$I_{\text{máx}}$ :** máxima tensión admisible
- **R:** resistencia
- **X:** reactancia
- **$\Omega$ :** ohmios
- **Cu:** cobre
- **Al:** aluminio
- **HEPR:** etileno-propileno de alto módulo
- **DC:** corriente continua
- **IVA:** Impuesto del Valor Añadido
- **VAN:** Valor Actual Neto
- **$f_u$ :** Factor de utilización
- **$I_p$ :** Índice de potencia
- **$I_E$ :** Índice de energía
- **E.B.B.S:** Estudio Básico de Seguridad y Salud
- **R.D.:** Real Decreto

- **p.e.:** por ejemplo
- **CE:** Comunidad Europea
- **€:** euros

## 6. Requisitos del diseño

Dentro de los requisitos en el diseño de una central hidroeléctrica reversible, el más fundamental es el de que exista una altura en el salto que justifique su instalación. La potencia a desarrollar por la central depende de varios factores, siendo los determinantes el caudal de equipamiento y la altura del salto hidráulico. Este segundo factor determina la viabilidad de la central pues el elevado coste en infraestructuras es justificado gracias a un periodo de retorno menor, es decir, que se desarrolle una energía que permita la amortización de la inversión. En el caso que ocupa, el salto para la ubicación de la central a implementar es lo suficientemente elevado para poder plantear el diseño. Además, este suceso se enmarca en el hecho de que aumentándose la altura neta, es posible reducir la capacidad del embalse superior y por tanto la superficie ocupada y/o afectada.

Otro requisito importante es la disponibilidad del terreno. Como norma general, los terrenos que ofrecen una elevación o salto óptimo se encuentran en áreas protegidas, lo que hace que las zonas donde se pueda implementar sean reducidas. En lo referido al diseño a desarrollar, la central se implementa en una zona de interés especial pero con un uso diferente con una categoría de protección y uso distinto según la zona en cuestión.

Por otro lado, al ser las centrales de esta tipología de gran potencia instalada, va a ser necesario la instalación de equipos reversibles, motor-generador, de una potencia de bastante calibre, del orden de megavatios. Por lo tanto la instalación eléctrica se va a caracterizar por tener una tensión y corrientes elevadas, por lo que los elementos de enlace entre los diferentes dispositivos han de cumplir con los criterios que garantizar el correcto funcionamiento y protección de la central. Continuando con la máquina eléctrica reversible, aparte de poder funcionar en ambos regímenes, como motor y como generador, el paso de uno a otro ha de realizarse de manera efectiva, sin producir grandes perturbaciones, por lo que se debe implementar un sistema a que permita ese cambio correctamente, teniendo en cuenta la potencia, recurriéndose a la doble alimentación de la máquina.

## 7. Análisis de soluciones

A lo largo del estudio de viabilidad se plantean diferentes soluciones en ciertos apartados para el diseño de determinados elementos, los cuales se definen en mayor grado en sus respectivos capítulos.

Como ya se ha indicado, y con una mayor explicación en los anexos correspondientes, el emplazamiento de la central se plantea dentro del sistema montañoso de la comunidad de La Rioja, en una zona protegida. Dentro de la misma, atendiendo a las diferentes restricciones, se baraja la implantación del embalse superior en el entorno de varios embalses existentes, decidiéndose por el embalse de Pajares, en la Sierra de Cebollera, por tener una altura o salto suficientemente elevado, un perfil de elevación no muy abrupto y poder ubicarse en un área de uso comercial sin afectar a los hábitats protegidos del entorno.

En lo referido a la superficie ocupada y la altura del embalse superior a diseñarse, a partir del establecimiento del volumen a turbinar, y escogiéndose una superficie no demasiado extensa que implique un movimiento de tierras y una obra civil elevada que afecte en demasía al entorno, se define la altura del volumen de agua acumulado en la parte superior, y por ende, la altura de la presa de hormigón.

En el diseño de la tubería forzada de doble función, con subida de agua durante el periodo bombeo y bajada en el turbinado, en el transcurso de la misma por el perfil de la montaña, se plantean varias alternativas, escogiéndose aquella con un efecto o impacto menos adverso en el medio, evitando la realización de obras de gran alcurnia.

Una vez se dimensionan los diferentes elementos estructuras de la central hidroeléctrica, tales como la tubería forzada, la toma de agua, chimenea de equilibrio, entre otros, y se obtienen las pérdidas hidráulicas y la altura neta total del salto hidráulico, se obtiene la potencia. Dicha potencia resulta de gran valor, por lo que se plantea la instalación de diferentes grupos en paralelo de turbinas-bombas, cuyo suma de potencias sea la total, siendo un total de cuatro lo grupos instalados. Así se consigue reducir la potencia de trabajo de cada grupo a la cuarta parte, facilitándose la selección de los grupos generadores reversibles.

A la hora de escoger el tipo de máquina reversible, esta ha de poseer unas características que permitan la satisfacción de las demandas exigidas por el diseño. Así con una potencia del orden de megavatios, se elige un motor-alternador de una tensión elevada normalizada y un factor de potencia cercano a la unidad. Asimismo, dadas estas características, entre la opción de elegir por una máquina eléctrica de inducción o una máquina síncrona, se opta por el primer caso, contando además con un sistema de doble alimentación, para el rotor y el estator.

En lo que respecta al transformador de tensión que permita el ajuste de la tensión de la central a la propia de la red, éste ha de tener la capacidad transformadora, de elevación o reducción según el régimen de funcionamiento, que permita la conexión a una red del voltaje exigido dada la gran potencia instalada de la planta.

Por último, en el diseño de los conductores de conexión de los elementos eléctricos de la central hidroeléctrica de bombeo, se realiza el conexionado del tramo entre el conjunto reversible y el centro de transformación, entre este último y las protecciones de la torre de la línea aérea. De esta forma, con esta configuración, los conductores discurrirán bajo tubo enterrado de PVC.

## 8. Resultados finales

Una vez caracterizados y dimensionados todos y cada uno de los elementos de la central hidroeléctrica reversible establecidos según el alcance planteado, desde el punto de vista eléctrico, se recogen a continuación los resultados obtenidos.

En primer lugar, en la caracterización del embalse de Pajares como embalse inferior de la central se concluye que es posible prácticamente el bombeo de agua diario al embalse superior, lo que se traduce en un funcionamiento durante un significativo número de días al año de la central, con un total de 292 días.

En lo que concierne al diseño del embalse superior, ubicado en el margen derecho del embalse de Pajares este se caracteriza por tener un volumen de llenado máximo de 2 Hm<sup>3</sup>, ocupar una superficie horizontal de unos 99100 m<sup>2</sup> y presentar una presa artificial de hormigón de unos 22 m de altura. Asimismo, el régimen de funcionamiento de la central, de unas 7 horas de bombeo y 8 horas de turbinado medias diarias, hace que el caudal total en el primer caso sea de 79.365 m<sup>3</sup>/s y 69.444 m<sup>3</sup>/s.

Establecidos los caudales, se definen los elementos constructivos de la central, siendo de especial énfasis la caracterización de la tubería forzada, de acero, de 3.18 metros de diámetro y 776 metros de longitud, con el fin de determinar las pérdidas hidráulicas y hallar el salto neto en el bombeo (267.615 m) y en el turbinado (252.566 m).

La turbina elegida según los requerimientos de diseño es una turbina Francis de eje vertical, con un rendimiento del 89 %.

Por otro lado, la potencia desarrollada total de la central es de 234.11 MW en el régimen de bombeo y de 153.134 MW durante la generación de energía. Escogiéndose la de mayor valor para el diseño, y puesto que se trata de un valor muy elevado, se opta por la instalación de cuatro grupos, repartiéndose tanto el caudal de equipamiento y la potencia, instalándose por tanto cuatro turbinas Francis de las características establecidas.

	Bombeo		Turbinado	
	Q (m <sup>3</sup> /s)	P (MW)	Q (m <sup>3</sup> /s)	P (MW)
Grupo 1	19.841	58.527	17.361	38.283
Grupo 2	19.841	58.527	17.361	38.283
Grupo 3	19.841	58.527	17.361	38.283
Grupo 4	19.841	58.527	17.361	38.283
Total	79.365	234.11	69.444	153.134

Tabla 1. Caudal y potencia por grupo

En cada uno de los grupos se instala la máquina asíncrona doblemente alimentada de unos 65 MW de potencia nominal, 13.8 kV de tensión y factor de potencia de 0.87 inductivo, teniendo la máquina un rendimiento global del 93 %. Asimismo, la velocidad síncrona de giro del rotor coincide con la de la turbina, al estar ambas acopadas, siendo de unas 500 rpm y 6 pares de polos. Puesto que se trata de una máquina asíncrona, la velocidad de giro nominal es inferior, de 472 rpm.

Puesto que la conexión a la red de transporte eléctrico debe realizarse a un nivel de tensión de 66 kV, se implanta un total de dos transformadores elevadores/reductores Dy11 de 150 MVA y un rendimiento de 99.73 %.



Con todos los rendimientos calculados, se obtiene el rendimiento global de la central, del 82.55 % y, con el mismo, la energía total diaria tanto consumida en horas punto como generada, de 1776.89 kWh y 1090.85 MWh respectivamente.

En cuanto al conexionado, el tramo desde la máquina de inducción reversible hasta la entrada del transformador de tensión, consiste en un total de 5 conductores formados por tres conductores unipolares cada uno, de cobre, sin armadura y bajo tubos enterrados, con una sección de 630 mm<sup>2</sup> y un aislamiento de HEPR (105°C). Por su parte, para la conexión entre el transformador y la línea de transporte, la sección y la disposición de los conductores es la misma que en el caso anterior, constando de 2 conductores de 630mm<sup>2</sup> para cada transformador.

En lo referido a las protecciones de la instalación eléctrica, se opta por la instalación de celdas compactas de conexión y protección, las cuales incluyen todos los elementos de protección necesarios para el correcto funcionamiento de la planta. Así, se instalan 4 celdas de 24 kV en la parte de 13.8 kV del sistema y 2 celdas de 72.5 kV en la parte de 66 kV.

Por último, se realiza un presupuesto de la obra y un estudio de viabilidad económica para un periodo de retorno de 20 años, a través del cual se concluye que el proyecto no resulta viable. A esto también se le debe sumar el destacable impacto ambiental que supondría una obra de tal calado, a pesar de buscar una ubicación donde el impacto fuese mínimo.

## 9. Orden de prioridad de documentos

El orden de prioridad de los documentos frente a posibles discrepancias o incompatibilidades que puedan ocurrir en los documentos básicos del proyecto será el orden de prioridad de los documentos contractuales, el cual se expone a continuación:

- Planos
- Pliego de Condiciones
- Presupuesto
- Memoria
- Mediciones
- Anexos



**UNIVERSIDAD  
DE LA RIOJA**

# DISEÑO DE UNA CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE BOMBEO

Trabajo fin de máster

**Anexos**

Autor: **Óscar Herreros Sáenz**  
Máster universitario en Ingeniería Industrial  
Marzo de 2019, Logroño (La Rioja)

Tutores del trabajo:  
**Montserrat Mendoza Villena**, Departamento de Ingeniería Eléctrica.  
**Pedro María Lara Santillán**, Departamento de Ingeniería Eléctrica.

## Índice de contenidos

10. Energía Hidráulica .....	53
10.1. Energías renovables .....	53
10.2. Situación de las energías renovables .....	53
10.3. Definición de la energía hidráulica .....	55
10.4. Características .....	56
10.5. Clasificación de las centrales hidráulicas .....	56
10.5.1. Centrales de derivación de la corriente .....	56
10.5.2. Centrales de intercepción de la corriente .....	57
10.6. Elementos de captación y conducciones .....	58
10.6.1. Presas o azudes .....	59
10.6.2. Toma de agua .....	59
10.6.3. Canal de derivación .....	59
10.6.4. Cámara de carga .....	60
10.6.5. Tubería forzada .....	60
10.6.6. Sala de máquinas .....	61
10.6.7. Desagües .....	61
10.7. Turbinas .....	61
10.7.1. Turbinas Pelton .....	61
10.7.2. Turbinas Francis .....	62
10.7.3. Turbinas Kaplan .....	63
10.7.4. Regulación de las turbinas .....	63
10.7.4.1. Calibración .....	64
10.7.4.2. Regulación .....	64
10.7.4.3. Protecciones .....	66
10.8. Perspectivas de futuro .....	66
10.9. Ventajas y desventajas .....	67
10.9.1. Ventajas .....	67
10.9.2. Desventajas .....	67
11. Centrales Hidráulicas de Bombeo .....	68
11.1. Definición .....	68
11.2. Características .....	68
11.3. Clasificación de las centrales hidráulicas de bombeo .....	69
12. Alternativas del emplazamiento .....	70
12.1. Alternativa 1: Embalse de Mansilla .....	70

12.2. Alternativa 2: Embalse de González-Lacasa .....	71
12.3. Alternativa 3: Embalse de Pajares.....	72
12.4. Alternativa elegida .....	72
13. Caracterización del embalse inferior.....	74
14. Definición del embalse superior.....	77
14.1. Ubicación del embalse superior .....	77
14.1.1. Zonas Especiales de Conservación de Importancia Comunitaria (ZECIC) .....	77
14.2. Superficie ocupada.....	79
14.3. Capacidad de acumulación.....	79
14.4. Altura de la presa .....	79
14.5. Régimen de funcionamiento .....	80
15. Cálculo de las pérdidas hidráulicas .....	81
15.1. Pérdidas en la tubería forzada .....	82
15.1.1. Pérdidas primarias.....	82
15.1.2. Pérdidas secundarias.....	83
15.2. Pérdidas hidráulicas totales .....	85
16. Diseño de los elementos estructurales .....	86
16.1. Rejas metálicas.....	86
16.2. Chimenea de equilibrio .....	86
16.3. Tubería forzada .....	86
16.4. Desagüe.....	86
16.5. Turbina-Bomba.....	86
17. Cálculo de la potencia hidráulica .....	88
17.1. Dimensionado de las turbinas.....	89
17.1.1. Velocidad específica .....	89
17.1.2. Dimensionado del rodete.....	89
17.1.3. Dimensionado del caracol .....	90
17.1.4. Cavitación .....	91
18. Conjunto motor-alternador.....	92
18.1. Caracterización de la máquina de inducción .....	92
18.2. Máquina asíncrona doblemente alimentada .....	95
18.3. Accesorios de la máquina de inducción .....	96
19. Transformador de tensión .....	97
19.1. Características eléctricas del transformador .....	97
19.1.1. Características internas .....	98

19.2. Rendimiento .....	99
19.3. Características constructivas.....	99
19.4. Transformador para equipos BT .....	100
19.5. Accesorios de los transformadores .....	101
20. Cálculo de la energía consumida o generada.....	102
20.1. Conclusiones .....	103
21. Conexión de la instalación .....	104
21.1. Descripción de la instalación.....	104
21.2. Dimensionado de los conductores.....	104
21.2.1. Tramo I: desde la máquina asíncrona hasta el transformador .....	105
21.2.2. Tramo II: desde el transformador hasta la torre de la línea .....	107
21.2.3. Tramo III: desde el lado de 13.8 kV hasta el transformador de servicios auxiliares .....	108
21.3. Protecciones.....	108
21.3.1. Celda 24 kV .....	108
21.3.1.1. Datos Técnicos .....	109
21.3.1.2. Resumen de la estructura .....	110
21.3.1.3. Dispositivo para liberar presión .....	111
21.3.1.4. Enclavamiento secundario de la posición del enchufe y del carro .....	111
21.3.1.5. Dispositivo de indicación eléctrica .....	111
21.3.1.6. Prevención de la condensación.....	111
21.3.1.7. Dispositivo de puesta a tierra .....	111
21.3.1.8. Dispositivos de bloqueo para evitar mal funcionamiento .....	111
22. Conexión a la red.....	114
22.1. Celda GIS 72.5 kV.....	115
22.1.1. Datos técnicos .....	115
22.1.2. Elementos constructivos .....	116
22.1.2.1. Módulo cortacircuitos .....	116
22.1.2.2. Mecanismo de operación.....	117
22.1.2.2.1. Unidad de corte.....	118
22.1.2.2.2. Recorrido de la corriente .....	118
22.1.2.2.3. Operación de ruptura.....	119
22.1.2.2.4. Interrupción de corrientes de falla. ....	119
22.1.2.3. Dispositivos de conmutación de tres posiciones .....	120
22.1.2.3.1. Módulo de alimentación saliente .....	120

22.1.2.3.2. Módulo de barras.....	121
22.1.2.3.3. Seccionadores de buses .....	121
22.1.2.4. Puesta a tierra de alta velocidad interruptor / trabajo en progreso módulo de puesta a tierra .....	122
22.1.2.5. Transformadores para instrumentación .....	122
22.1.2.5.1. Transformador de corriente.....	122
22.1.2.5.2. Transformador de tensión / divisor de tensión .....	123
22.1.2.6. Módulos de conexión .....	123
22.1.2.6.1. Módulos de extensión.....	124
22.1.2.6.2. Módulos T.....	124
22.1.2.6.3. Módulos angulares.....	124
22.1.2.6.4. Módulo de división, unipolar / tripolar .....	124
22.1.2.7. Pararrayos .....	125
22.1.2.8. Módulos terminales .....	125
22.1.2.8.1. Terminación del cable .....	125
22.1.2.8.2. SF6 / terminación de aire .....	126
22.1.2.8.3. Conexión directa de transformadores .....	127
22.1.2.9. Control y seguimiento - control consistente y flexible y protección .....	127
22.1.2.9.1. Control de aparamenta comprobado. ....	127
22.1.2.9.2. Monitoreo de gas .....	128
22.1.2.9.3. Sistema de control y protección flexible y fiable. ....	128
22.1.2.10. Operación y mantenimiento .....	128
23. Estudio de viabilidad .....	130
23.1. Datos de partida para el estudio.....	130
23.2. Cálculos y parámetros determinados .....	130
23.3. Resultados obtenidos.....	132
23.3.1. Factor de utilización de la central como generadora de energía.....	134
23.3.2. Índices de potencia y de energía.....	134
23.4. Conclusiones .....	135

## Índice de imágenes

Imagen 1.	Situación energética mundial.....	54
Imagen 2.	Evolución mundial de la capacidad de producción con energías renovables.....	54
Imagen 3.	Situación energética en España .....	55
Imagen 4.	Contribución de cada tecnología renovable en el consumo energético.....	55
Imagen 5.	Perfil longitudinal de un río.....	56
Imagen 6.	Central de derivación misma longitud y menor pendiente .....	57
Imagen 7.	Central de derivación misma pendiente y diferente longitud .....	57
Imagen 8.	Central de derivación diferente pendiente y longitud .....	57
Imagen 9.	Esquema general de una central hidroeléctrica .....	58
Imagen 10.	Tipos de azudes .....	59
Imagen 11.	Canal de derivación .....	60
Imagen 12.	Tubería forzada .....	60
Imagen 13.	Desagüe de fondo .....	61
Imagen 14.	Ejemplo de turbina Pelton.....	62
Imagen 15.	Ejemplo de turbina Francis.....	63
Imagen 16.	Ejemplo de turbina Kaplan .....	63
Imagen 17.	Esquema regulador en una central hidroeléctrica.....	64
Imagen 18.	Regulación de la turbina.....	65
Imagen 19.	Regulación estática positiva con amortiguamiento .....	65
Imagen 20.	Escala para peces .....	66
Imagen 21.	Esquema general de una central hidroeléctrica de bombeo .....	68
Imagen 22.	Ejemplo de curva de demanda energética diaria.....	69
Imagen 23.	Embalses de la Rioja .....	70
Imagen 24.	Alternativas embalse Mansilla .....	70
Imagen 25.	Perfil de elevación de la alternativa 1 .....	71
Imagen 26.	Alternativas embalse González-Lacasa .....	71
Imagen 27.	Perfil de elevación de la alternativa 2 .....	71
Imagen 28.	Alternativas embalse Pajares .....	72
Imagen 29.	Perfil de elevación de la alternativa 3 .....	72
Imagen 30.	Reserva media anual ordenado.....	75
Imagen 31.	Reservas medias año hidrológico.....	76
Imagen 32.	Ubicación del embalse superior .....	77
Imagen 33.	Zonificación general de la ZECIC.....	78
Imagen 34.	Zonificación de entorno del embalse de Pajares .....	79



Imagen 35.	Demanda energética diaria .....	80
Imagen 36.	Diagrama de Moody .....	82
Imagen 37.	Válvula de compuerta .....	84
Imagen 38.	Toma de agua en el fondo del embalse .....	84
Imagen 39.	Carta de aplicación de turbinas.....	87
Imagen 40.	Balance de potencias de una máquina asíncrona como motor .....	93
Imagen 41.	Balance de potencias de una máquina asíncrona como generador .....	93
Imagen 42.	Esquema sistema de conversión .....	95
Imagen 43.	Circuito equivalente de un transformador.....	98
Imagen 44.	Disposición de los conductores del tramo I .....	105
Imagen 45.	Disposición de los conductores del tramo II .....	107
Imagen 46.	Celda 24kV ET1 .....	110
Imagen 47.	Interruptor VE24 VCB.....	112
Imagen 48.	Parámetros de las dimensiones del interruptor V24 VCB.....	112
Imagen 49.	Dimensiones del interruptor VE24 VCB .....	113
Imagen 50.	Sistema eléctrico en La Rioja .....	114
Imagen 51.	Modelo y esquema unifilar celda GIS 8DN8.....	116
Imagen 52.	Partes de la celda GIS 8DN8 .....	116
Imagen 53.	Módulo cortacircuitos .....	117
Imagen 54.	Mecanismo de operación.....	118
Imagen 55.	Principio de extinción del arco eléctrico .....	119
Imagen 56.	Dispositivo de conmutación de tres posiciones .....	120
Imagen 57.	Módulo de alimentación saliente.....	121
Imagen 58.	Módulo de barras .....	121
Imagen 59.	Seleccionador de buses .....	121
Imagen 60.	Puesta a tierra de alta velocidad.....	122
Imagen 61.	Transformador de corriente.....	122
Imagen 62.	Transformador de tensión.....	123
Imagen 63.	Módulos de conexión .....	124
Imagen 64.	Pararrayos .....	125
Imagen 65.	Terminación cable .....	126
Imagen 66.	SF6 / Terminación de aire .....	126
Imagen 67.	Terminación en tubo para el transformador .....	127
Imagen 68.	Dimensiones y conexión directa al transformador .....	127
Imagen 69.	Ejemplo de celdas GIS con sus equipos de monitoreo.....	129

## Índice de tablas

Tabla 2.	Parámetros de alternativas	73
Tabla 3.	Volúmenes medios anuales ordenados	74
Tabla 4.	Volúmenes medios año hidrológico	75
Tabla 5.	Coeficientes de pérdidas en codos de 90º	83
Tabla 6.	Coeficientes de pérdidas en válvulas de compuerta	84
Tabla 7.	Características de la máquina asíncrona	94
Tabla 8.	Características eléctricas del transformador	98
Tabla 9.	Características constructivas del transformador	99
Tabla 10.	Características eléctricas transformador equipos BT	100
Tabla 11.	Características constructivas transformador equipos BT	101
Tabla 12.	Factores de corrección Tramo I	106
Tabla 13.	Secciones según intensidad máxima admisible (Tramo I)	106
Tabla 14.	Secciones según caída de tensión (Tramo I)	106
Tabla 15.	Factores de corrección Tramo II	107
Tabla 16.	Secciones según intensidad máxima admisible (Tramo II)	108
Tabla 17.	Secciones según caída de tensión (Tramo II)	108
Tabla 18.	Características técnicas de la celda 24 kV ET1	109
Tabla 19.	Características técnicas del interruptor VE24 VCB	110
Tabla 20.	Datos técnicos de la celda GIS 8DN8	115
Tabla 21.	Datos de partida del estudio	130
Tabla 22.	Resultados anuales del estudio de viabilidad	133
Tabla 23.	Resultados totales del estudio de viabilidad	134

## 10. Energía Hidráulica

En este capítulo se aborda en primer lugar, antes de entrar dentro del campo de la energía hidráulica, una visión global de las fuentes de energías renovables aprovechables en la actualidad. Una vez enmarcado el marco general, se tratan ya aspectos característicos de la energía hidráulica, que es la energía en la que se fundamenta el trabajo de final de máster.

### 10.1. Energías renovables

Las fuentes de energía existentes se pueden clasificar de varias maneras según el criterio que se emplee para ello. Así, según la disponibilidad de las fuentes de energía, en función de si estas se agotan dentro de un periodo de tiempo relativamente cercano, las fuentes de energías se pueden clasificar en energías no renovables y renovables. Las primeras, las no renovables, son aquellas fuentes cuyas reservas son limitadas, por lo que su disponibilidad está acotada temporalmente. En cambio, las energías renovables se consideran ilimitadas, es decir, su disposición es prácticamente inagotable en el tiempo.

Centrándose en las energías renovables, éstas a su vez se caracterizan en otros aspectos tales como el hecho de tratarse de recursos limpios y sostenibles, su carácter autóctono contribuye a disminuir la dependencia energética exterior, aumentan la diversificación del abastecimiento de energía y contribuyen al desarrollo y avance tecnológico.

Dentro de este grupo se puede encontrar una cierta variedad de fuentes de energía, tales como:

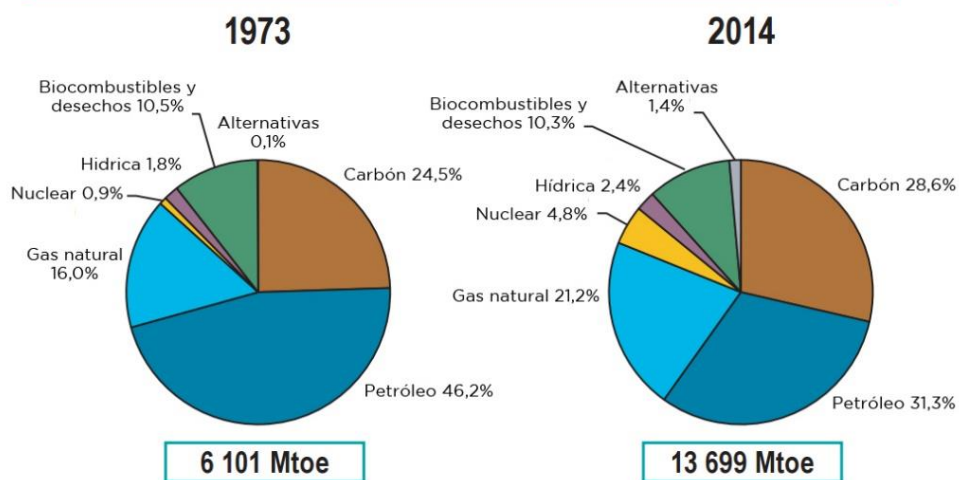
- Energía solar
- Energía hidráulica
- Energía eólica
- Energía de biomasa
- Energía undimotriz
- Energía mareomotriz
- Energía geotérmica
- Otras fuentes de energía

### 10.2. Situación de las energías renovables

Dentro de un mundo globalizado de recursos cada vez más limitados, el papel que juegan las energías renovables resulta cada vez más crucial en la búsqueda de la sostenibilidad y del respeto medioambiental. Así, la situación actual de las energías renovables se va a plantear dentro de dos puntos de vista, a saber: desde una visión global y desde una visión en España.

Desde el ámbito global, cabe mencionar que la proporción en el empleo de energías de origen renovable frente a las no renovables, resulta superior en aquellos países con niveles de desarrollo mayores. No obstante, la situación actual es la que se muestra en las siguientes imágenes, con un aumento significativo de las energías de origen renovable.

## MATRIZ ENERGÉTICA MUNDIAL



FUENTE: Internacional Energy Agency

Imagen 1. Situación energética mundial

### Global Renewable Power Capacity, 2007-2017

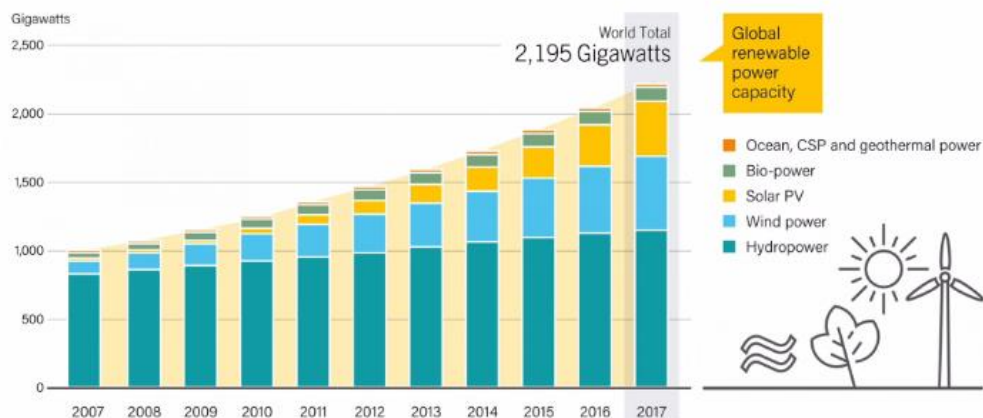


Imagen 2. Evolución mundial de la capacidad de producción con energías renovables

En una visión a nivel nacional, el peso que representan las energías renovables dentro del panorama de generación de energía eléctrica en España es el dispuesto a continuación.

Consumo de energía primaria - España 2014

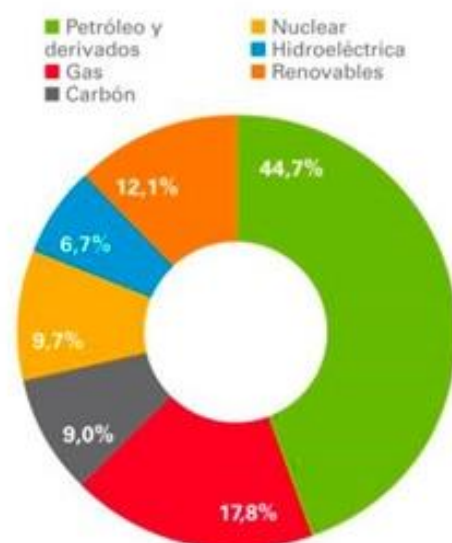


Imagen 3. Situación energética en España

Dentro del porcentaje de generación eléctrica mediante energías renovables, cada una de las diferentes fuentes aporta una contribución diferente en el consumo de energía, viéndose en el siguiente gráfico.

(Fuente: Ministerio de Industria, Turismo y Comercio)

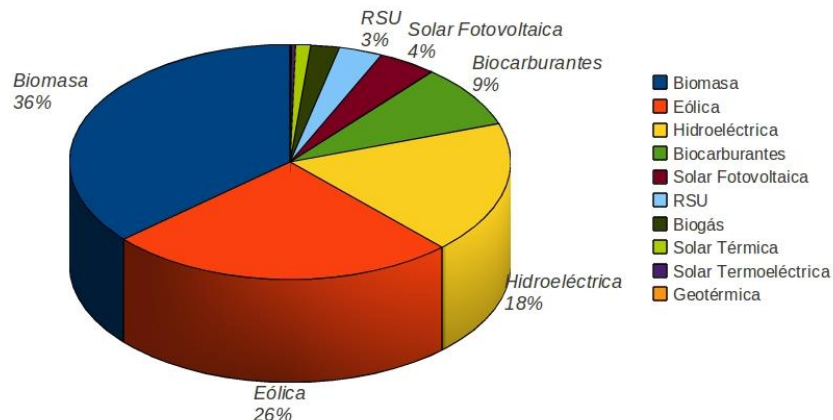


Imagen 4. Contribución de cada tecnología renovable en el consumo energético

### 10.3. Definición de la energía hidráulica

La energía hidráulica se define como aquella que aprovecha parte de la energía cinética y potencial de las masas de agua, siguiendo su ciclo hidrológico de la naturaleza, para la obtención de un trabajo útil a través de una serie de elementos como, por ejemplo, de una turbina.

#### 10.4. Características

El fundamento físico de funcionamiento de la energía hidroeléctrica es el aprovechamiento de la energía potencial de las masas de agua entre dos cotas a diferentes alturas. Este aprovechamiento sigue el procedimiento descrito a continuación.

Se suponen dos puntos cualesquiera en el cauce natural de un río, en una visión longitudinal.

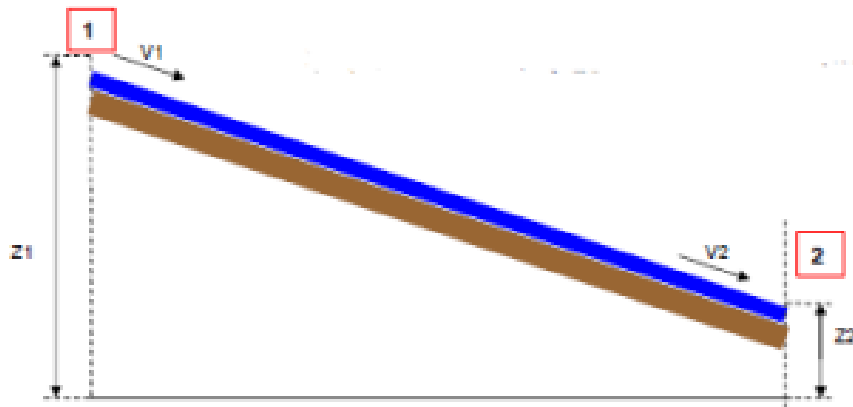


Imagen 5. Perfil longitudinal de un río

La ecuación que define el comportamiento energético del agua entre los dos puntos indicados en el esquema es la ecuación de Bernoulli:

$$\frac{v_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\rho g} + Z_1 - H_{p\acute{e}rdidas} = \frac{v_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\rho g} + Z_2$$

Así, el objetivo es conocer el valor de las pérdidas hidráulicas ( $H_{p\acute{e}rdidas}$ ) y la diferencia de energía entre ambos puntos, que corresponde con la energía que se va a poder emplear en la generación de energía eléctrica.

#### 10.5. Clasificación de las centrales hidráulicas

Desde un punto de vista funcional, existen dos metodologías de aprovechamiento de la energía potencial que representa una masa de agua en movimiento, a saber:

- Derivación de la corriente
- Interceptación de la corriente por medio de una presa

Cada uno de estos dos tipos se describe brevemente a continuación.

##### 10.5.1. Centrales de derivación de la corriente

Las centrales de derivación de la corriente son aquellas que, tal y como indica su nombre, desvían parte del caudal del río desde una cota superior del cauce natural hasta la sala de máquinas donde esta energía contenida se transforma en energía eléctrica a través de una turbina.

Dentro de las mismas se pueden encontrar tres tipologías de centrales.

- Centrales que derivan parte del caudal siguiendo el cauce del río mediante una línea de menor pendiente.

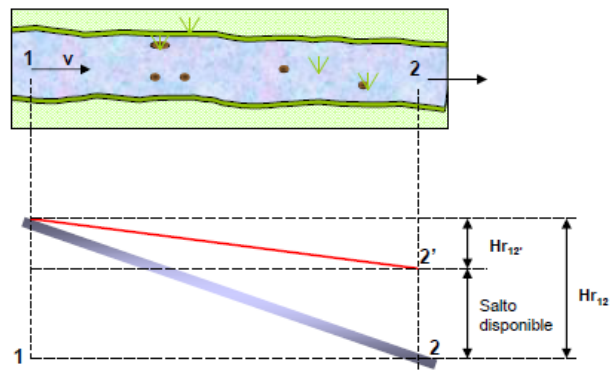


Imagen 6. Central de derivación misma longitud y menor pendiente

- Centrales que derivan parte del caudal siguiendo una línea de igual pendiente pero longitud menor.

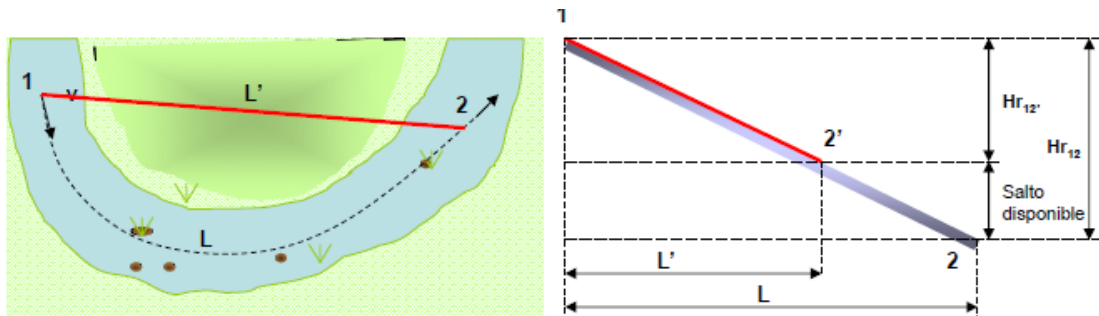


Imagen 7. Central de derivación misma pendiente y diferente longitud

- Centrales que derivan parte del caudal siguiendo una línea tanto con una pendiente como una longitud menor.

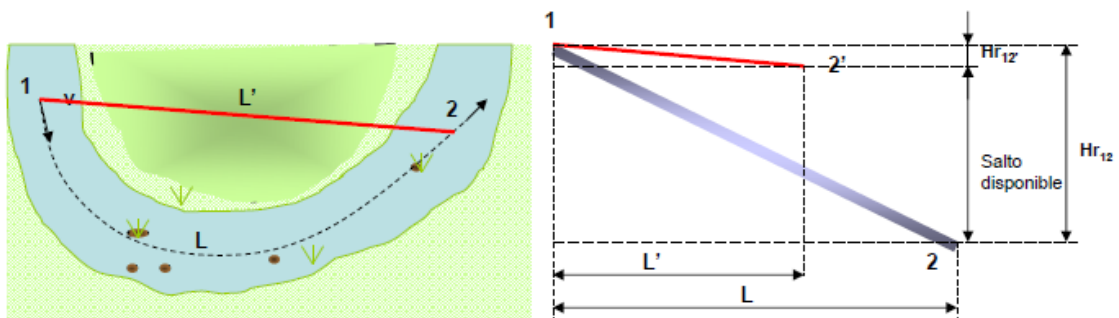


Imagen 8. Central de derivación diferente pendiente y longitud

#### 10.5.2. Centrales de intercepción de la corriente

Las centrales de intercepción de la corriente corresponden con las que actúan directamente en el curso natural del agua de los ríos, reteniéndola mediante la construcción de una presa, constituyéndose por tanto un embalse. Esta configuración de central hidroeléctrica si permite la acumulación de agua y, por tanto, de energía, a diferencia de las centrales de derivación.

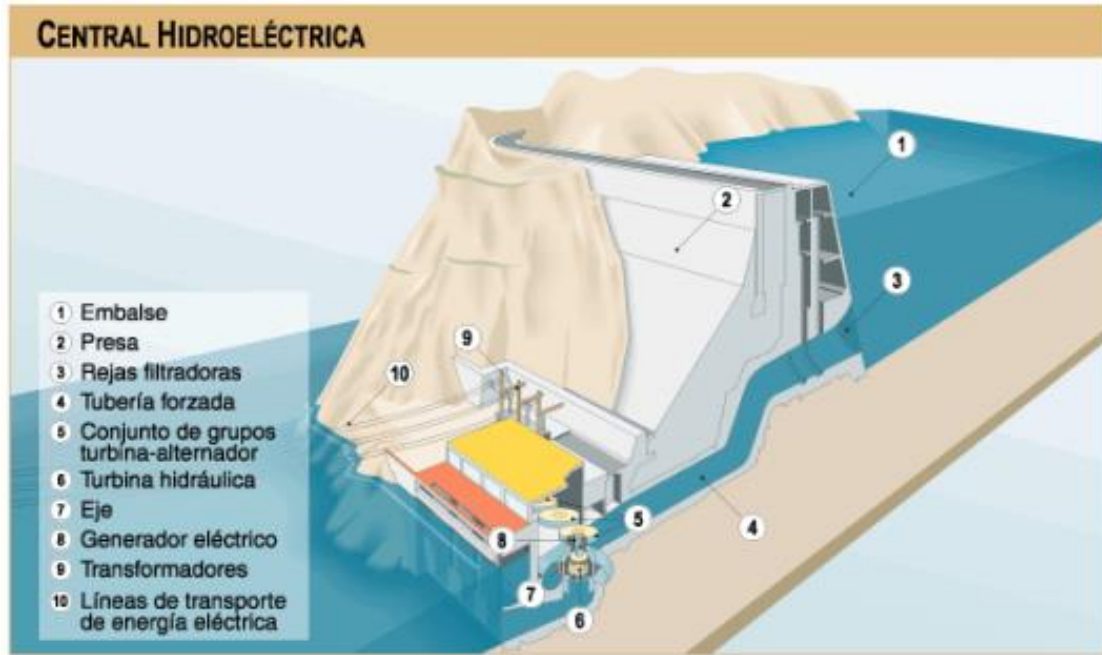


Imagen 9. Esquema general de una central hidroeléctrica

Nos obstante, cabe mencionar la existencia de un criterio de prioridades a la hora de emplear al agua acumulada en los embalses, siendo este orden el siguiente.

1. Abastecimiento de agua
2. Riego
3. Caudales ecológicos
4. Generación electricidad

Por otro lado, las centrales de acumulación pueden diferenciarse en dos tipos: las centrales de acumulación tradicionales, con un solo embalse, y las centrales de acumulación de bombeo, las cuales disponen de dos embalses. Estas últimas se describen detalladamente en el siguiente capítulo.

### 10.6. Elementos de captación y conducciones

El agua sigue el siguiente recorrido: entra dentro del sistema a través de la toma de agua, incluyendo las compuertas y la cámara de sedimentación para decantación de gruesos, pasa a través de un canal de derivación, pudiendo ser este de hormigón, embutado o subterráneo, hasta llegar a la cámara de carga donde se atenúa las variaciones de caudal. A continuación, prosigue por la conducción forzada hasta la turbina en la sala de máquinas donde se transforma la energía mecánica en energía eléctrica, y por último el agua se conduce por el desagüe para devolverla al curso del río.

Así, a continuación, se describen brevemente los diferentes elementos de las centrales hidroeléctricas en general. Cabe indicar que no todos los elementos están en todas ellas, ya que su existencia depende de la tipología y características de la central.



### 10.6.1. Presas o azudes

Los elementos de captación del caudal del agua pueden ser azudes o presas. Los primeros para las centrales que desvían la corriente y los segundos para centrales que interceptan el caudal del río.

Los azudes son pequeñas presas que sirven para elevar, desde unos centímetros hasta metros, el nivel del agua con el fin de facilitar la interceptación de la corriente.

Las presas pueden ser:

- Presas de materiales sueltos
  - Presas de tierra
    - Homogéneas
    - Zonificadas
  - Presas de escollera.
- Presas de hormigón
  - Presas de gravedad
    - Macizas
    - Aligeradas
  - Presas de arco
    - Curvatura Horizontal
    - Doble curvatura (bóveda)
  - Presas de arco-gravedad

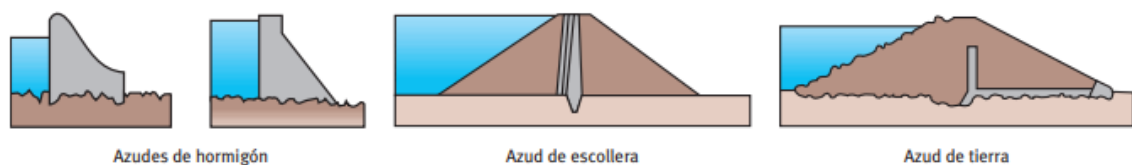


Imagen 10. Tipos de azudes

### 10.6.2. Toma de agua

La toma de agua corresponde con aquel elemento estructural, ubicado en el azud o en la presa, destinado a dirigir el agua hacia el canal de derivación o la tubería forzada. Su diseño ha de ser tal que las pérdidas hidráulicas sean las mínimas posibles además de permitir el paso de caudal necesario para alimentar la central.

Para evitar el paso de objetos hacia los elementos de la central situados a continuación de la toma, se instalan unas rejas metálicas con un sistema de limpieza manual o automatizada, siendo este último el más general.

### 10.6.3. Canal de derivación

Consiste en la estructura de enlace entre la toma de agua y la cámara de carga. Gracias a este canal, la central se puede situar alejada de la toma de agua, aumentando el salto útil.

Así, el canal de derivación puede ser abierto o cerrado, estando la parte superior del agua a presión atmosférica como característica esencial de diseño.



*Imagen 11. Canal de derivación*

#### 10.6.4. Cámara de carga

Se trata de un depósito al final del canal de derivación desde el cual comienza la tubería forzada. Su fin no es otro que regular el volumen de agua a suministrar a la tubería forzada para que la central funcione de manera continua, ininterrumpida.

En su diseño es necesario tener en cuenta que las pérdidas sean lo más reducidas posibles, evitándose a su vez los remolinos que pudieran producirse. Cuenta a su vez con un aliviadero para desaguar el fluido en caso de parada de la central, y suele constar además con una reja, y su limpia-rejas, y elementos de limpieza y desarenación.

#### 10.6.5. Tubería forzada

Su función es la de transportar el fluido hasta la sala de máquinas, en donde se encuentran los grupos generadores. Al transcurrir el agua en su interior, se produce una presión elevada, por lo que recibe también el nombre de tubería de presión. Además, dicha canalización debe soportar la sobrepresión provocada por el cierre de la misma, el denominado golpe de ariete, fruto por ejemplo del cierre brusco de la central o de válvulas en su recorrido. No obstante, para paliar este efecto de sobrepresiones en centrales de cierto calado suele ser habitual, que no obligatorio, la introducción de chimeneas de equilibrio para amortiguar los posibles efectos adversos.



*Imagen 12. Tubería forzada*

Por otro lado, la instalación de la tubería forzada puede ser subterránea o al aire libre, sobre el terreno, dependiendo de las características del terreno y de la zona en cuestión.

#### 10.6.6. Sala de máquinas

En esta instalación se encuentran ubicados los diferentes grupos eléctricos de generación de energía eléctrica. Así, se ubican tanto los conjuntos turbina-altenador como los aparatos de regulación y control que garanticen el correcto funcionamiento de la central. Las salas de máquinas pueden diferenciarse en centrales subterráneas y centrales al exterior.

Cuando la central se encuentra en una situación de reparación o desmontaje, las compuertas instalas a la entrada y la salida de la sala de máquinas se cierras con el fin de dejar sin agua la zona en cuestión.

#### 10.6.7. Desagües

Los desagües, también conocido como aliviaderos o vertederos, son los elementos de las centrales hidráulicas capaces de descargar parte del agua de los embalses hacia el río, aguas abajo, en caso de que un nivel elevado de agua pudiera provocar un desbordamiento del embalse, con los respectivos efectos negativos provocados. Estos desagües pueden ser de superficie o de fondo o medio fondo.



*Imagen 13. Desagüe de fondo*

### 10.7. Turbinas

Los elementos encargados de la transformación de la energía potencial del agua en energía eléctrica son las turbinas.

Actualmente existen diferentes tipos de turbinas, cada una con su tecnológica y características. La elección de una u otra tipología depende fundamentalmente de dos factores, el caudal de equipamiento de la central y el salto hidráulico útil existente. Principalmente son tres los tipos de turbinas que se emplean en las centrales hidroeléctricas.

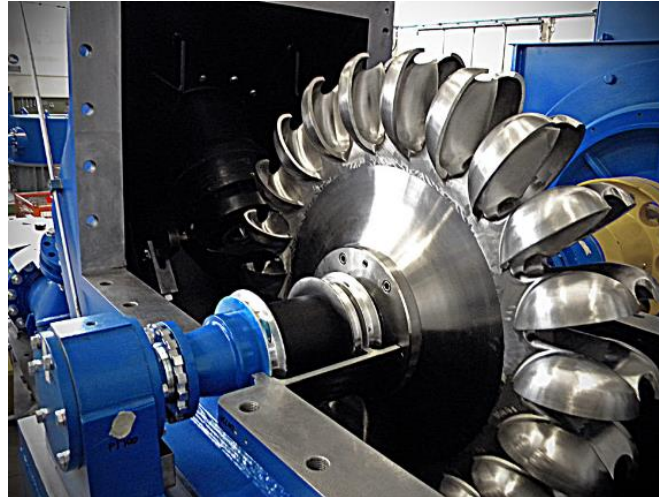
#### 10.7.1. Turbinas Pelton

Son conocidas también como turbinas de presión. Se utilizan en saltos de gran altura (>200 metros) y con caudales pequeños (<10 m<sup>3</sup>/s), y presentan rendimientos elevados.

La turbina Pelton está formada por una rueda móvil provista de cucharas en su periferia sobre las cuales incide el chorro de agua. Este chorro sale de un inyector fijo en el cual la regulación se efectúa variando la posición de la aguja que obtura más o menos el orificio de

salida. El chorro de agua incide en la arista central de las cucharas y se divide en dos partes o más, dependiendo de su diseño, para caer después al canal de fuga.

Estas pueden montarse sobre eje horizontal o eje vertical, y pueden tener varios inyectores, dependiendo del caudal. Son turbinas de acción, es decir, el agua no sufre ningún cambio de presión a su paso por el rodete. Carecen, por tanto, de tubería de aspiración. El flujo de agua es tangencial.

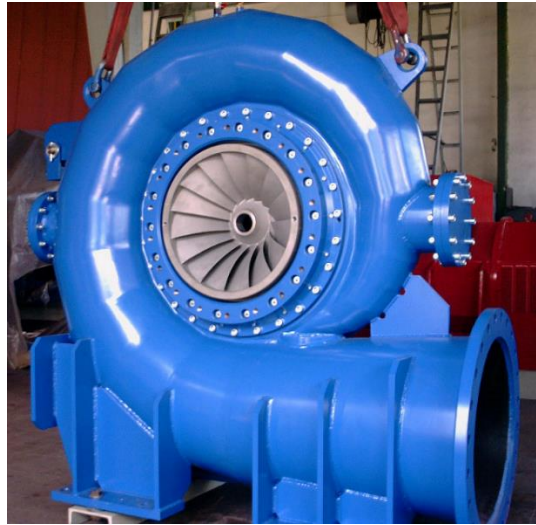


*Imagen 14. Ejemplo de turbina Pelton*

#### 10.7.2. Turbinas Francis

También conocidas como turbinas de sobrepresión o radiales-axiales. Son ideales para altura y caudales medios.

En la turbinas Francis el agua a presión es conducida a una cámara cuya misión es repartir todo el caudal por la periferia del rodete. Una serie de álabes fijos se encargan de canalizar correctamente las líneas de flujo del agua. Entre esta hilera de álabes fijos y el rodete se encuentra una segunda fila de álabes móviles o palas directrices que constituyen lo que se denomina el anillo distribuidor o distribuidor de Fink. Este distribuidor permite regular el caudal de la turbina sin que las venas líquidas sufran desviaciones bruscas o contracciones, permitiendo un rendimiento elevado incluso con cargas reducidas. Estos álabes móviles pueden girar alrededor de un eje paralelo al eje de la máquina, y el movimiento de cierre es simultáneo para todos ellos. Son turbinas de reacción y de eje vertical.



*Imagen 15. Ejemplo de turbina Francis*

#### 10.7.3. Turbinas Kaplan

Las turbinas Kaplan responden a la necesidad de aprovechar saltos de gran caudal y poca altura, y a pesar de ser más caras que las turbinas Francis, tienen la ventaja de que a igualdad de caudal permiten un número de revoluciones mayor y por tanto la utilización de un alternador más económico.

Están constituidas por una hélice de pocos álabes y gran sección de paso entre ellos. El agua entra al rodete desde una cámara espiral con distribuidor regulable análogo al de las turbinas Francis, pero los álabes están situados a una altura relativamente menor, de modo que el flujo es prácticamente axial. Esta turbina también es de reacción.



*Imagen 16. Ejemplo de turbina Kaplan*

#### 10.7.4. Regulación de las turbinas

Dada una variación de la carga de la central, ya sea disminuyendo el valor o incrementándose, la velocidad de rotación de la turbina aumentará en el primer caso y disminuirá en el segundo, regulándose la entrada de agua para cada situación para ofrecer la potencia necesitada.

Así, de esta manera, el objeto ultimo del regulador en el sistema es alcanzar una nueva situación de equilibrio tras los cambios en la carga, manteniéndose las revoluciones por minuto constantes, óptimas para el funcionamiento.

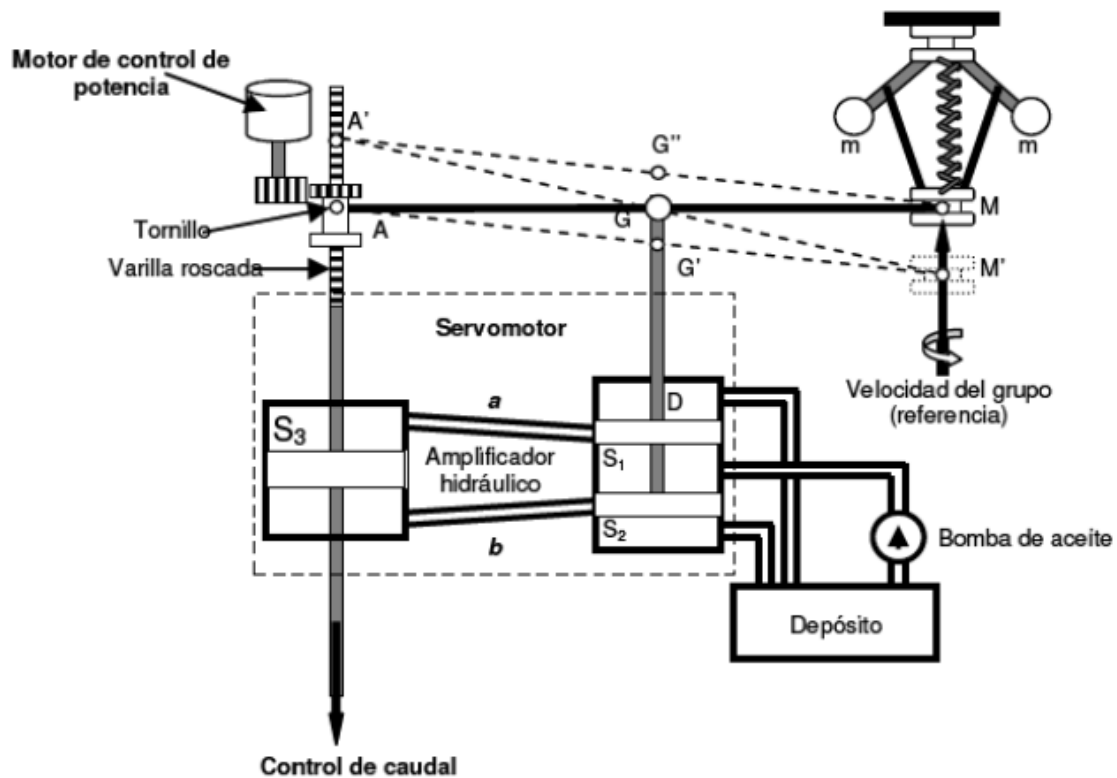


Imagen 17. Esquema regulador en una central hidroeléctrica

#### 10.7.4.1. Calibración

Existe la necesidad de instalar los mecanismos o componentes de regulación o calibración que se adapten la producción de energía eléctrica al consumo, siendo éste cambiante constantemente. Como mecanismo de calibración se encuentra el denominado regulador centrífugo, el cual detecta las variaciones de velocidad de giro del eje de la turbina, pudiendo actuar en el sistema de apertura y cierre de agua a la misma.

#### 10.7.4.2. Regulación

Para el cierre de las turbinas, los equipos encargados realizan sus esfuerzos sobre un servomotor. Este aparato, que consta de un pistón cilíndrico doble con la zona situada entre ambos a elevada presión, funciona mediante la introducción de aceite a presión en uno de sus lados gracias a la acción de una bomba.

El elemento sensible la variación de velocidad transmite el cambio en la velocidad de giro, fruto de una variación de la carga, a la válvula de control o de distribución, la cual actuará sobre el servomotor, introduciendo el fluido de control a presión en el lado correspondiente según la situación que se esté tratando. De modo que si la carga disminuye, la velocidad aumenta y la válvula de control inyectará aceite en el lado de cierre del servomotor a la vez que el fluido retorna del lado de apertura a la bomba. Gracias a la acción del servomotor, el sistema de generación alcanzará una nueva situación de equilibrio.

El principio de funcionamiento se fundamenta en la curva de elasticidad, en la cual queda reflejada la correlación entre la velocidad y la potencia del conjunto, así como la apertura o cierre del distribuidor de la turbina. De esta forma, la regulación puede diferenciarse en



estática, en la que al crecer la potencia decrece la velocidad, y en isodrómica, en la que la velocidad de giro permanece invariable con la potencia.

La efectividad del regulador pasa por alcanzar una regulación estable, actuando de una manera rápida ante la entrada de perturbaciones al sistema de generación. Para alcanzar dicha estabilidad desde una situación perturbadora, son requeridas variaciones continuadas de velocidad, lo que se traduce en la imposibilidad del regulador de lograr la nueva situación de funcionamiento de manera estable, siendo diferente la velocidad de giro de la turbina.

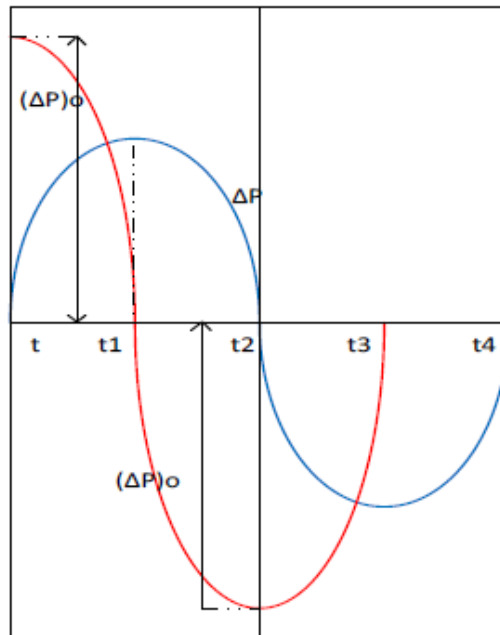


Imagen 18. Regulación de la turbina

Si se trabaja con una regulación tipo estática positiva, la velocidad, sus amortiguaciones fruto del cambio de régimen del sistema, van siendo amortiguadas de modo progresivo. Tras la situación inicial, le prosigue una fase de sobrerregulación, la cual resulta parada previo al alcance de la velocidad inicial.

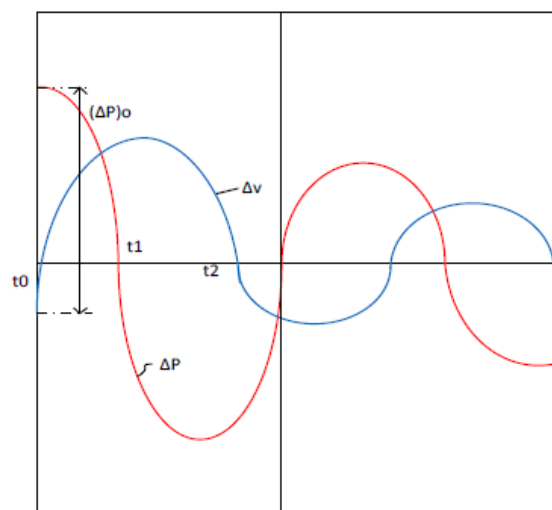


Imagen 19. Regulación estática positiva con amortiguamiento

#### 10.7.4.3. Protecciones

Las protecciones, en términos genéricos, deben constar de los siguientes elementos:

- Bloque de detección del desperfecto
- Bloque de señalización del desperfecto
- Bloque de señalización e intervención, coordinado además con la lógica externa.

En el caso de los reguladores, el principal constituyente de la protección es el mantenimiento, de tal forma que el elemento regulador de la turbina se encuentre siempre en unas condiciones óptimas para realizar su función sin impedimento alguno. Entre las tareas de mantenimiento se pueden englobar las dispuestas a continuación:

- Engrasar partes móviles
- Revisar y mantener los mecanismos de distribución, servomotores, poleas...
- Desmonte, limpieza y verificación de daños y desgaste de los pistones y la válvula gobernadora.
- Cambiar anualmente el líquido lubricante del regulador.

#### 10.8. Perspectivas de futuro

A pesar de que la generación de energía hidroeléctrica posee una tecnología bastante madura, sí que existen campos de mejora de la eficiencia de este tipo de centrales eléctricas. Con un buen trabajo de ingeniería y de diseño, es posible incrementar el rendimiento de las instalaciones. Así, algunas de las áreas de innovación en este ámbito de la generación de energía eléctrica son los siguientes:

- Efectividad de pasos para peces: la búsqueda de minimizar el efecto negativo sobre la vida acuática que ejerce la intercepción del curso del río por una presa es un reto perseguido en los últimos años. Las últimas mejoras en sistemas que permiten una mejor circulación de peces aguas arriba, como las escalas de peces, ha implicado un menor impacto medioambiental en la fauna de los ríos.



*Imagen 20. Escala para peces*

- Modelización física y dinámica de fluidos computacional: la introducción de modelos físicos y computacionales permiten una mejora a la hora de medir el rendimiento, algo que resulta difícil realizar directamente. Como ejemplo de nuevos sistemas de modelizado, en el caso del diseño de turbinas, se puede



encontrar la modelización del golpe del álabe o análisis integrado de datos de peces, para minimizar el daño en la vida de los ríos.

- Mejoras en el rendimiento: las nuevas turbinas han sufrido grandes avances en eficiencia energética, en el cuidado medioambiental o en la viabilidad comercial, entre otros aspectos, resumiéndose todo ello en un éxito en equilibrio ambiental (con un mayor rendimiento se puede generar más energía sin la necesidad de un aumento del caudal o del salto neto, y por tanto de una obra civil con un impacto en el medioambiente superior), técnico, operacional y consideraciones de coste.
- Mejoras en el oxígeno disuelto: el retro-ajustado de la aireación más efectiva en las turbinas tipo Francis permite reducir así las concentraciones de bajo oxígeno disuelto en el agua de cola bajo las instalaciones hidroeléctricas. Los efectos positivos de reducir la bajada del nivel el oxígeno disuelto se traduce en minimizar el impacto adverso en los organismos aguas abajo del proyecto.

### 10.9. Ventajas y desventajas

Como toda fuente de energía, la energía hidráulica posee una serie de ventajas y de desventajas, fruto de su explotación, las cuales se indican a continuación:

#### 10.9.1. Ventajas

- Se trata de una energía barata y renovable, con una producción prácticamente constante.
- Constituye una de las energías que puede ser almacenable gracias a las presas que interrumpen el curso de los ríos para acumular grandes cantidades de agua, con diferentes fines como regular el caudal de los ríos para el regadío, controlar variaciones bruscas estacionales de los cauces o la generación de energía eléctrica.
- Es una energía limpia, ya que en la transformación de la energía potencial del salto del agua en energía eléctrica mediante las turbinas no se produce ningún residuo contaminante.

#### 10.9.2. Desventajas

- Para la acumulación de agua en los embalses es necesaria la inundación de amplias zonas destinadas a otros usos, produciéndose la desaparición de vegetación y fauna, de terrenos de cultivo o incluso de poblaciones.
- Además de afectar al terreno también cabe considerar su impacto en los ecosistemas fluviales. La fauna y la flora propias de los ríos cuyo caudal son interceptados son afectadas por la construcción de las presas, pues estas afectan a la fluidez del agua y a la cantidad oxígeno que disuelto en las corrientes.
- Las infraestructuras que constituyen las centrales hidroeléctricas se caracterizan por su alto coste económico.
- Centrales como la eólica o la nuclear emiten una cantidad de gramos de CO<sub>2</sub> por kWh mucho menor (casi la mitad) que una central hidroeléctrica, según el IPCC (Panel Intergubernamental de Expertos en Cambio Climático).

## 11. Centrales Hidráulicas de Bombeo

Dado que este trabajo de final de máster en ingeniería industrial consiste en el diseño de una central hidroeléctrica de bombeo, en este capítulo se hace una breve descripción centrada y detallada de las centrales de este tipo.

### 11.1. Definición

Las centrales hidráulicas de bombeo se definen como aquellas que permiten almacenar energía en un embalse superior. Este tipo especial de centrales hidroeléctricas de intercepción de la corriente también reciben el nombre de centrales de acumulación por bombeo. Asimismo, constituyen actualmente la manera más económica de almacenamiento de energía.

En lo referido a su funcionamiento, el agua acumulada en el embalse a cotas inferiores, es bombeada al embalse superior durante las horas con una demanda eléctrica más baja, con el fin último de turbinar dicha agua en las horas de mayor consumo.

### 11.2. Características

En una central de acumulación por bombeo la componente principal del coste de la instalación corresponde a la capacidad del embalse superior. La manera de reducir el volumen de este embalse para una potencia de la central dada es aumentar la altura del salto y disminuir el caudal. Al aumentar la altura del salto, las turbinas hidráulicas han de girar a más velocidad, por lo que resulta más económico el generador eléctrico a emplear.



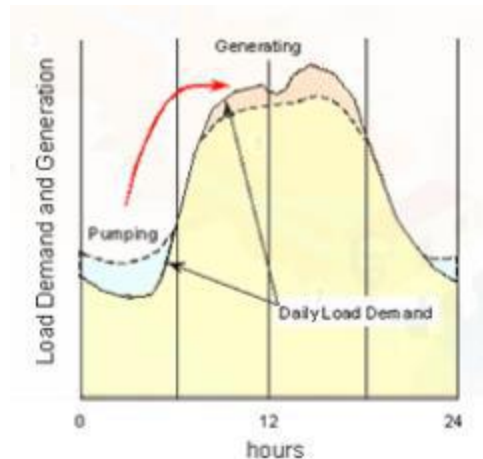
Imagen 21. Esquema general de una central hidroeléctrica de bombeo

La efectividad de una central de bombeo aumenta a medida que su ubicación se aproxime a un centro de producción de energía de base, por lo general constituido por grandes centrales térmicas convencionales y nucleares, y a un centro de consumo con grandes puntas de potencia. De esta manera se minimizan los costes de transporte de la energía durante las etapas de bombeo y turbinado.

### 11.3. Clasificación de las centrales hidráulicas de bombeo

Las centrales de este tipo se pueden clasificar de diferente manera según el criterio que se emplee, tal y como se describe a continuación.

Según el ciclo de bombeo seguido, pueden ser centrales de ciclo diario, es decir, que bombean todos días en horas valle y turbinan en horas punta, de ciclo semanal, con un bombeo durante los fines de semana y un turbinado en los días laborales, y de ciclo estacional.



*Imagen 22. Ejemplo de curva de demanda energética diaria*

En función de las aportaciones de caudal al embalse superior, éstas se diferencian en centrales de bombeo puro, en las que la única aportación de agua al embalse superior es el caudal de bombeo, y las centrales de bombeo mixto, en las que existen aportaciones propias al embalse superior además del caudal bombeado. Asimismo, las primeras de ellas acostumbran a ser de ciclo de bombeo diario o semanal, mientras que las del segundo tipo pueden ser diarios, semanales o estacionales.

## 12. Alternativas del emplazamiento

Para la ubicación de la central hidráulica con bombeo, se decide emplear uno de los embalses existentes en la comunidad de La Rioja como embalse inferior de la central, buscándose que tenga un volumen de agua óptimo y que el entorno permita la construcción del segundo embalse superior a una altura considerable, ya que el salto hidráulico es un factor determinante a la hora de instalar una central de este tipo.

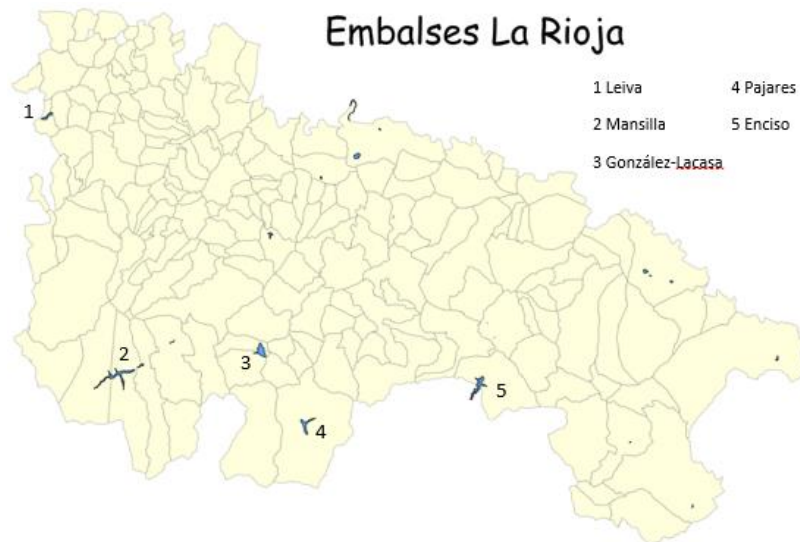


Imagen 23. Embalses de la Rioja

De esta manera, tras analizarse los diferentes embalses de la región y el relieve de la zona, mediante los datos aportados por la CHE y Google Earth, y descartarse aquellos de poco volumen o situados en una zona relativamente llana, se opta por el análisis de las diferentes alternativas dispuestas a continuación.

### 12.1. Alternativa 1: Embalse de Mansilla

Para el embalse Mansilla se analizan cuatro perfiles de elevación para la ubicación del embalse superior de la central, todo ello con el fin de conocer la diferencia de nivel de altura entre el embalse inferior y el posible embalse superior.



Imagen 24. Alternativas embalse Mansilla

De las cuatro situaciones se selecciona como posible alternativa la primera solución, indicada en la imagen posterior, con un incremento de elevación de unos 270 metros, viéndose a continuación su perfil de elevación

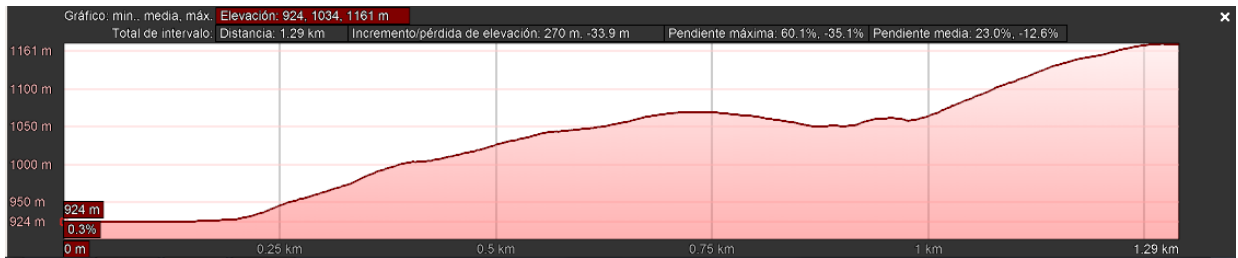


Imagen 25. Perfil de elevación de la alternativa 1

## 12.2. Alternativa 2: Embalse de González-Lacasa

En el caso del embalse de González-Lacasa, se estudian dos posibles ubicaciones analizándose sus perfiles de elevación.



Imagen 26. Alternativas embalse González-Lacasa

A pesar de que en ambas hipótesis la diferencia de alturas es no resulta precisamente elevada, se selecciona la segunda de ellas, con una elevación de 117 metros, como alternativa de este embalse para su comparación con las demás alternativas de los otros casos.

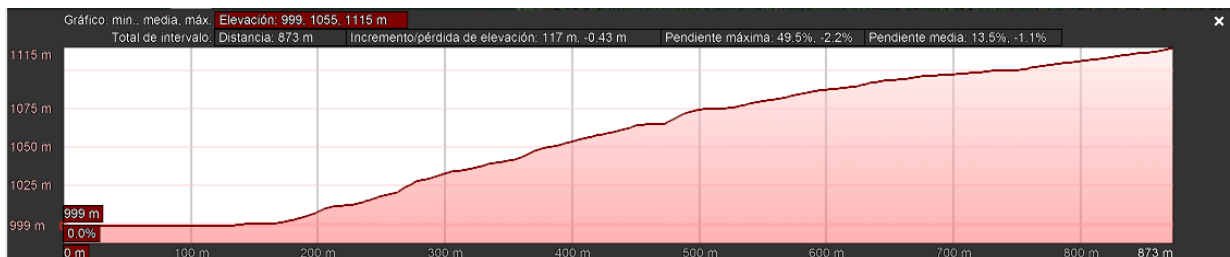


Imagen 27. Perfil de elevación de la alternativa 2

### 12.3. Alternativa 3: Embalse de Pajares

La tercera alternativa para la ubicación de la central a diseñar se estudia en el embalse de Pajares, se estudian dos perfiles de elevación.



Imagen 28. Alternativas embalse Pajares

De entre las dos situaciones hipotéticas se opta por la primera, al margen derecho del embalse, con una elevación máxima de 267 metros, siendo su correspondiente perfil de elevación el siguiente.

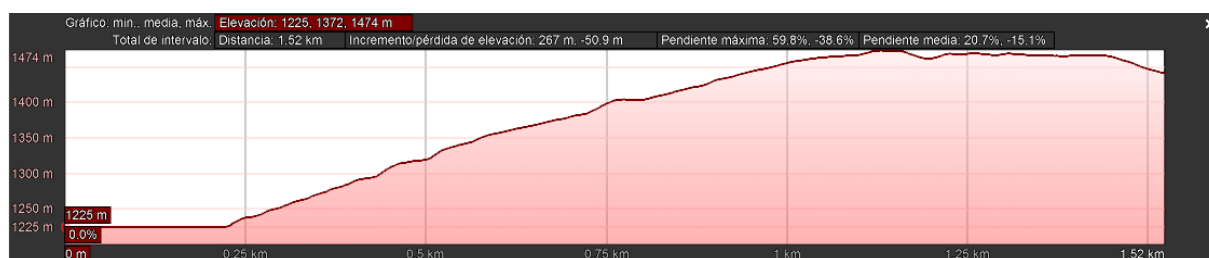


Imagen 29. Perfil de elevación de la alternativa 3

### 12.4. Alternativa elegida

Tras analizar las tres alternativas propuestas para situar el emplazamiento definitivo del segundo embalse superior y la central hidroeléctrica con sus instalaciones, se recoge en la siguiente tabla las características de cada una de ellas, con diferentes parámetros además de la máxima elevación del relieve.



Alternativa	Embalse	Capacidad (Hm <sup>3</sup> )	Generación eléctrica	Elevación máxima (m)	Pendiente media (%)
Alternativa 1	Mansilla	68	SI	270	23
Alternativa 2	González-Lacasa	33	SI	117	13.5
Alternativa 3	Pajares	35	NO	267	20.7

Tabla 2. Parámetros de alternativas

Claramente se puede observar que la segunda alternativa, la estudiada para el embalse de González-Lacasa, no cumple con los requisitos de altura necesarios para el diseño eficiente de una central hidroeléctrica de bombeo, por lo que queda descartada.

Para decantarse por una de las dos opciones restantes, la de Mansilla y la de Pajares, con unos parámetros de elevación del terreno similares como se visualiza en la tabla, se analizan otros factores que influyen en su diseño.

En ambas situaciones, la instalación de la central afecta al transcurso de una carretera, por lo que se tendría que actuar sobre la misma, cortándola durante el periodo de ejecución del proyecto y desviándose su trayectoria definitiva, para las dos alternativas.

En lo referido al perfil de elevación del terreno, el de la opción del embalse de Mansilla es más irregular que el del caso de Pajares, siendo más regular, por lo que existirían más dificultades a la hora de instalar la tubería forzada, con función doble de ascenso y descenso del agua, en el primer caso. Siguiendo con el análisis del relieve, tanto en el caso de la alternativa 1 como en el de la 3, el embalse se emplearía parte del perfil del terreno como barrera o presa natural del almacenamiento.

Asimismo, también se debe considerar el impacto medioambiental, puesto que cualquier proyecto de central hidroeléctrica conlleva algún impacto en el medio ambiente, en mayor o menor grado. En ambos casos el entorno se va a ver alterado de un modo elevado, pues como ejemplos más claros se encuentran el hecho de inundar grandes zonas para realizar el embalse superior o la instalación de la tubería forzada de la central, de longitud considerable. No obstante, tras el análisis de las zonas y hábitats protegidos de la flora y fauna de las respectivas zonas, en ambas ubicaciones existen especies protegidas en sus entornos pero, sin embargo, en el caso del embalse de Pajares, hay alguna zona sin especial protección, por lo que sería más adecuado para la proyección del embalse superior.

Otro factor por el cual se decanta por esta alternativa es el aprovechamiento de la existencia de este embalse para la generación de electricidad, ya que actualmente solo se emplea con la función de abastecimiento de agua.

Expuestos estos factores, se llega a la elección de entre las dos alternativas restantes. Así, la opción elegida para realizar el diseño es la alternativa 3, por lo que el diseño de la central se va a hacer empleando como embalse inferior el de Pajares.

### 13. Caracterización del embalse inferior

Elegida ya la ubicación definitiva de la central en el embalse de Pajares, se procede a la caracterización el mismo como embalse inferior del conjunto. El fin de esta caracterización consiste en conocer que parámetros son por los que se rige dicho embalse para así poder determinar la cantidad de agua a bombear al embalse superior, el periodo de bombeo-turbinado y dimensionar el embalse superior.

El embalse de Pajares de encuentra en la cuenca del río Piqueras, en la zona de “La sierra de Cebollera”. Para poder caracterizarlo, es necesario conocer el año hidrológico medio para su estudio, se recurre a la base de datos de la CHE, obteniéndose el valor del volumen medio diario en un periodo de 20 años, desde el año hidrológico 1995/96 hasta 2013/14. Cabe recalcar que los años hidrológicos comienzan en el mes de octubre.

Con esta recopilación de datos de volumen, en  $\text{Hm}^3$ , se calcula el valor medio en dicho periodo, obtenidos de un valor de  $19.85 \text{ Hm}^3$ , de modo que siendo la capacidad máxima del embalse de  $35 \text{ Hm}^3$ , representa un llenado medio del 56.72%.

A continuación, se calculan los valores medios mensuales para el total de los 20 años a analizar, así como su valor medio anual, recopilados y mostrados visualmente en la siguiente tabla y gráfico, respectivamente, ya ordenados de mayor a menor volumen.

Año hidrológico	Volumen medio anual ( $\text{Hm}^3$ )
2003/04	27,424
2013/14	26,023
1995/96	25,962
1997/98	25,700
2002/03	25,449
2008/09	25,295
2014/15	24,797
2006/07	24,724
2012/13	23,829
2011/12	23,583
2010/11	22,863
2000/01	21,345
2007/08	20,885
2005/06	20,733
1999/00	20,434
2009/10	20,088
1996/97	18,195
2004/05	17,783
2001/02	12,506
1998/99	9,426

Tabla 3. Volúmenes medios anuales ordenados



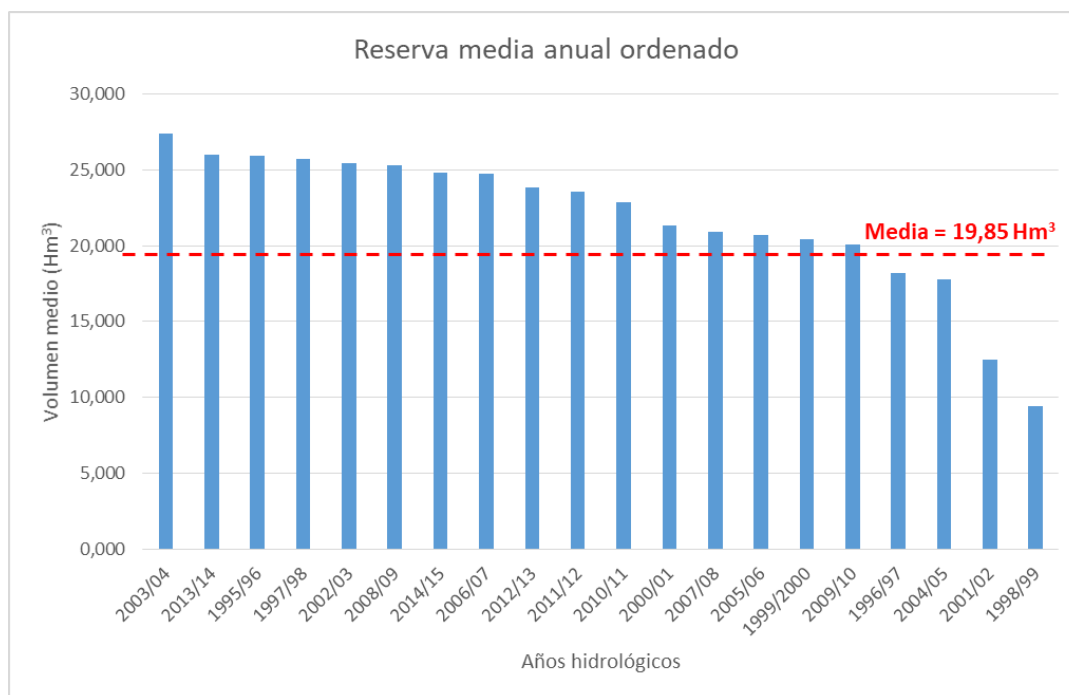


Imagen 30. Reserva media anual ordenado

Conocidos tanto la reserva media del periodo estudiado como el valor medio para cada uno de los años hidrológicos, se escoge aquel cuyos valores difieran menos de la media global de 19.85 Hm<sup>3</sup>. No obstante, a pesar de que el año más aproximado es el de 2009/10, se opta por el año 1999/00, que corresponde con el inmediatamente superior, también cercano a la media del periodo. El hecho de decidirse por estudiar este año y no el anterior se debe a que en el primero faltan datos del volumen medio en algunos meses. De esta manera, ya se posee el año medio para el estudio hidrológico del embalse inferior del conjunto de la central de bombeo a proyectar.

A continuación se incluyen valores medios mensuales y el valor anual para el año hidrológico elegido para el estudio.

1999/2000	
Periodo	Volumen medio (Hm³)
Octubre	18.123
Noviembre	20.898
Diciembre	23.258
Enero	29.576
Febrero	34.83
Marzo	34.116
Abril	30.038
Mayo	18.201
Junio	11.794
Julio	5.219
Agosto	7.637
Septiembre	11.429
Anual	20.434

Tabla 4. Volúmenes medios año hidrológico

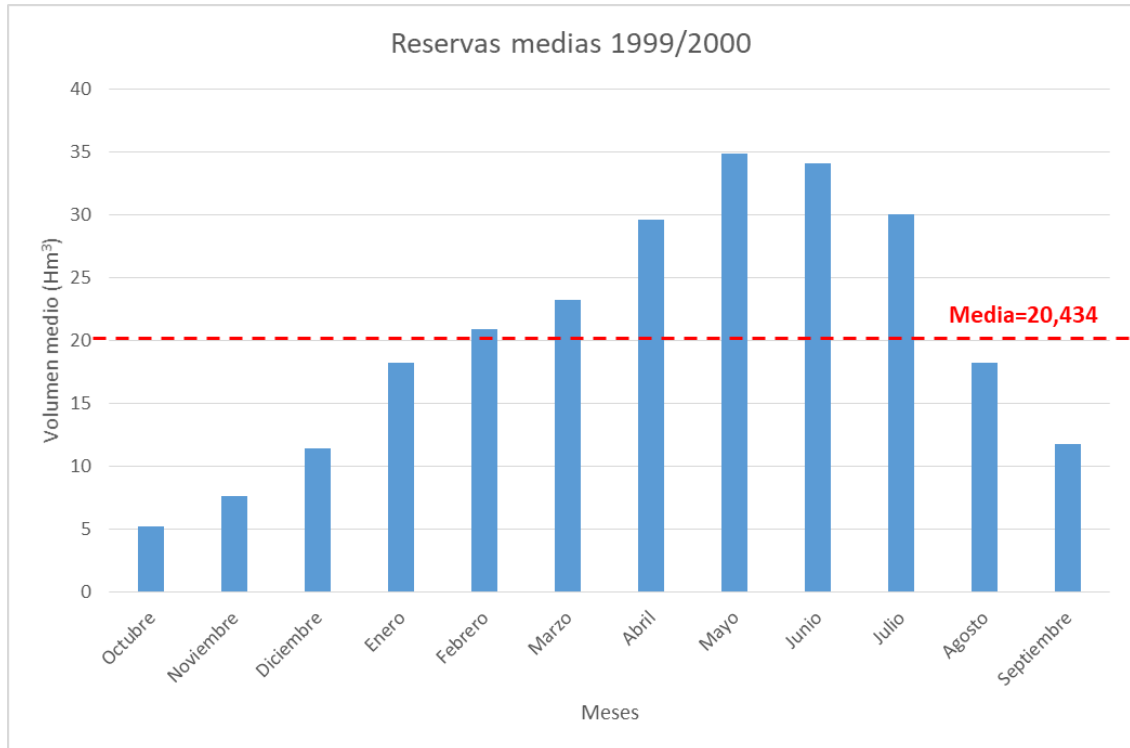


Imagen 31. Reservas medias año hidrológico

## 14. Definición del embalse superior

Con el año hidrológico medio ya determinado, es posible definir las características del embalse superior para poder proyectarlo. Así, se debe concretar una serie de parámetros o características del mismo como la ubicación, la superficie que va a ocupar o su capacidad de almacenamiento de agua, entre otros aspectos que se definen a continuación.

### 14.1. Ubicación del embalse superior

Como ya se ha comentado, la central hidráulica de bombeo a proyectar va a aprovechar el embalse ya existente de Pajares, por lo que el embalse superior ha de ubicarse en las cercanías del mismo.

En la siguiente imagen aparece la zona del emplazamiento del embalse superior, indicada a través de una marca circular roja. La zona elegida no es arbitraria, pues de las aéreas del entorno del embalse de Pajares, es de las pocas áreas que, además de satisfacer las demandas características requeridas para una central hidráulica de bombeo, no existe ningún hábitat especial de reserva de alguna especie autóctona.



*Imagen 32. Ubicación del embalse superior*

Vista la zona seleccionada, cabe indicar cuales van a ser las cotas de elevación útiles. Por un lado, la cota inferior que se va a tomar es de 1225 metros sobre el nivel del mar, correspondiente a la cota del nivel de agua del embalse inferior, mientras que la cota a la que se establece la toma de aguas del embalse superior es de 1475 metros. En consecuencia, conocidas ambas cotas, queda definida la altura bruta de la central, de unos 250 metros.

#### 14.1.1. Zonas Especiales de Conservación de Importancia Comunitaria (ZECIC)

La zona donde se emplaza el embalse se encuentra dentro de un plan de protección medioambiental denominado “Zonas Especiales de Conservación de Importancia Comunitaria” o ZECIC, el cual se enmarca dentro del plan Natura 2000.

El objeto del ZECIC es el de preservar la fauna y flora de la comunidad autónoma, realizándose una clasificación de los diferentes espacios protegidos, en este caso el correspondiente a las sierras de Demanda, Urbión, Cebollero y Cameros. De esta manera, cada zona presenta un nivel de protección en función del hábitat existente y, por lo tanto, el uso de éstas tendrá un nivel de restricción.

En lo que respecta al emplazamiento del embalse superior, el área que rodea al embalse presenta zonas de especial protección del hábitat, por lo que tras un análisis de estas zonas protegidas, se dispone la instalación del embalse superior, y del resto de elementos de la central, en una zona que no afecte a ninguna especie de especial protección, o resultando un impacto lo mínimamente posible. Asimismo, la ubicación de esta acumulación de agua se emplaza dentro una zona de uso general, pues en otras zonas resultaría imposible la implementación de un embalse nuevo, pues queda totalmente prohibida la creación de embalses en zonas en las que exista alguna especie de interés, ya sea flora o fauna, según por la normativa establecida en el plan Natura 2000.

En los siguientes mapas se muestra el uso de las zonas que componen la ZECIC.

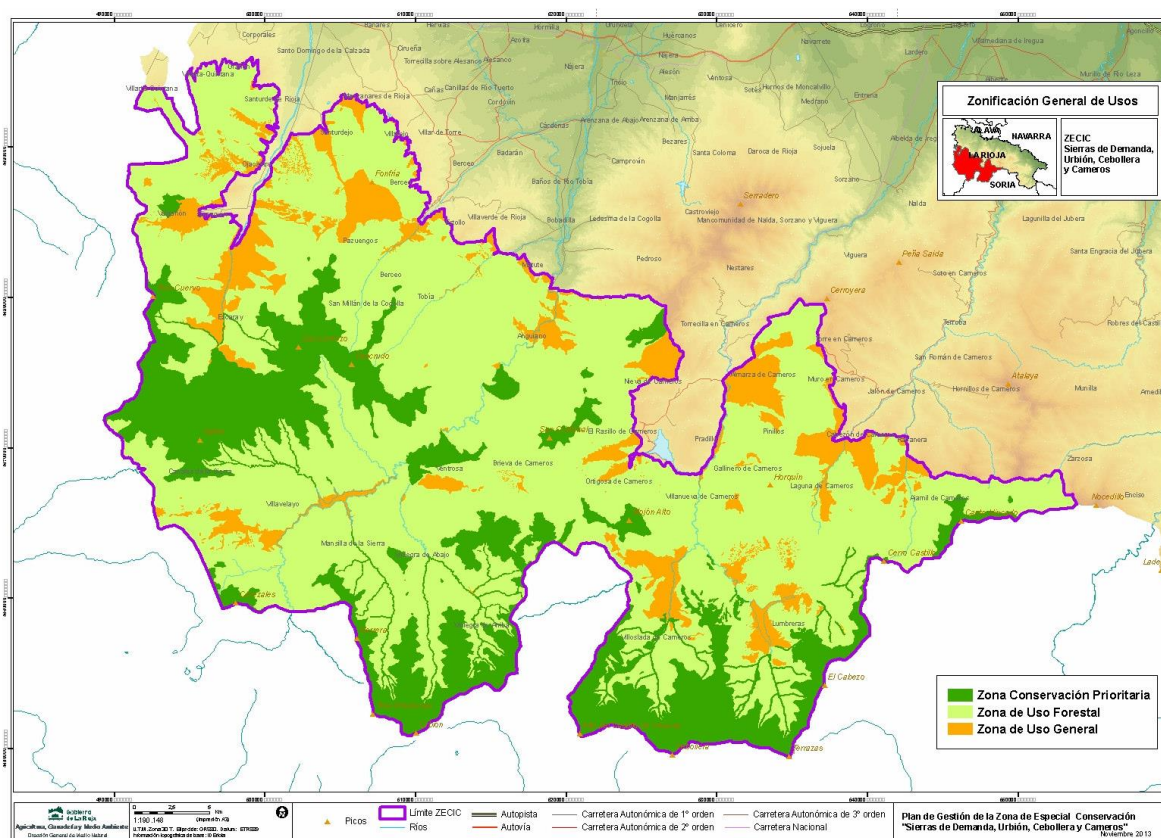


Imagen 33. Zonificación general de la ZECIC

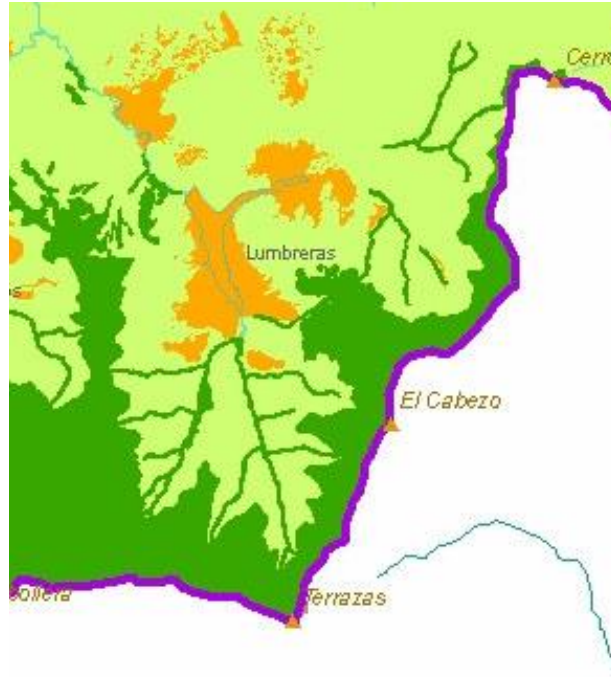


Imagen 34. Zonificación de entorno del embalse de Pajares

#### 14.2. Superficie ocupada

Con la zona determinada para el establecimiento del embalse superior, cabe estudiar cual será la superficie total a ocupar. Se trata de un terreno de cierta pendiente, por lo que para crear dicho embalse es necesario un movimiento de tierras de ciertas dimensiones.

Así, el embalse diseñado ocupa una superficie total de 99100 m<sup>2</sup>.

En el plano 1 se puede ver con mayor grado de detalle tanto la ubicación como la zona ocupada por el embalse diseñado.

#### 14.3. Capacidad de acumulación

Ubicado el embalse, se establece cual será la capacidad o el volumen máximo de acumulación de agua el embalse, decidiéndose por un total de 2 Hm<sup>3</sup>, con el fin de no escoger un volumen que, por un lado, pueda influir en la capacidad de abastecimiento de agua del embalse inferior, ni que signifique una altura de la presa elevada, ya que la superficie ocupada se queda fija.

#### 14.4. Altura de la presa

Conocidos tanto el valor de la superficie total ocupada por el embalse superior como su capacidad de almacenamiento, es posible conocer cuál será el valor máximo del nivel del agua del mismo, siguiendo la siguiente expresión:

$$Vol(m^3) = H(m) \cdot S(m^2) \rightarrow H(m) = \frac{Vol(m^3)}{S(m^2)} = \frac{2 \cdot 10^6}{99100} = 20.18 \text{ m}$$

Así, con dicho nivel, se determina la altura máxima de la presa, estableciéndose un valor de 22 m.

### 14.5. Régimen de funcionamiento

Para establecer el régimen de funcionamiento de la central cabe considerar que la finalidad última del embalse de Pajares es la de aprovechamiento de agua, por tanto, siempre se ha de mantener un volumen de agua en el mismo. Para ello, se fija un volumen mínimo sobre el cual será posible bombear en las horas valle y viceversa, bajo dicho en caso de un volumen inferior al establecido, la central no se pondrá en marcha.

De esta manera, se fija un volumen mínimo en el embalse inferior de 10 Hm<sup>3</sup>, lo que se traduce en un funcionamiento durante días 292 al año, estando el resto de días la central parada.

Conocido el total de días de operación, con un régimen de funcionamiento establecido diario, es necesario concretar el total de horas en situación de bombeo y en turbinado. El periodo de bombeo de agua, del embalse inferior al superior, tiene lugar en las horas de menor consumo del día, es decir, en las horas valle, mientras que el turbinado se realiza en las horas punta, con un consumo de energía eléctrica mayor. Este hecho se enmarca dentro de la propia definición de una central hidroeléctrica de bombeo, ya explicado en apartados anteriores.

Con el fin de fijar el periodo en régimen de bombeo y el de turbinado, se analiza la curva de consumo para un día tipo, siendo este un día laborable, por ejemplo, el 28 de noviembre de 2018.

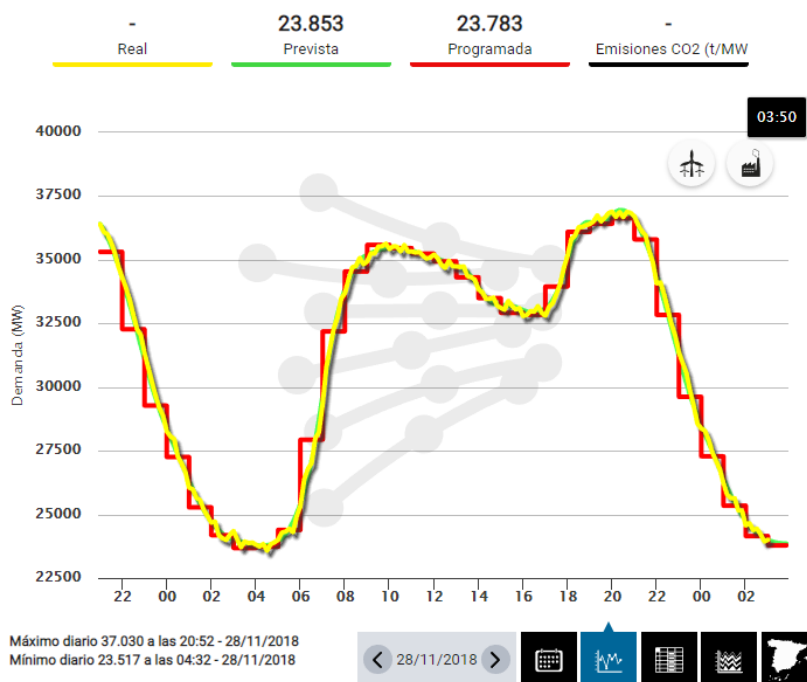


Imagen 35. Demanda energética diaria

Así, se puede concluir que el total de horas para el bombeo de agua es, aproximadamente, de 7 horas, siendo en el caso de turbinado de 8 horas.



## 15. Cálculo de las pérdidas hidráulicas

En el apartado en el cual se definen las centrales hidroeléctricas de bombeo, también se enumeran y explican los diferentes elementos que pueden tener las mismas. Dichos estos elementos provocan una serie de pérdidas hidráulicas según su composición y dimensionamiento, las cuales afectan a la altura total útil de la central de bombeo en sus dos ciclos de funcionamiento.

En primera instancia, con el fin de dimensionar los elementos, es necesario conocer cuál será el caudal tanto durante el bombeo como en el turbinado.

Se ha establecido previamente el volumen o la capacidad máxima de agua que es capaz de albergar el embalse superior, así como la superficie ocupada, por lo que es posible obtener los caudales necesarios.

En el caso del bombeo, el periodo de bombeo ( $t_b$ ) es de 7 horas, siendo el caudal ( $Q_b$ ) el siguiente:

$$Q_b = \frac{V_{\text{embalse superior}}}{t_b} = \frac{2 \cdot 10^6}{7 \cdot 3600} = 79.365 \text{ m}^3/\text{s}$$

Durante el turbinado, con un funcionamiento de 8 horas ( $t_t$ ), el caudal ( $Q_t$ ) resultante es:

$$Q_t = \frac{V_{\text{embalse superior}}}{t_t} = \frac{2 \cdot 10^6}{8 \cdot 3600} = 69.444 \text{ m}^3/\text{s}$$

Para dimensionar los elementos se coge aquel caudal más desfavorable, siendo este el mayor de ambas situaciones, el caudal de bombeo de  $79.365 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Conocido el caudal de diseño, se pasa a obtener cuáles serán las pérdidas hidráulicas de los componentes estructurales, con el fin de obtener cual será la altura real a aprovechar, en el caso de generación, o a superar en el bombeo. Esta altura, denominada como altura neta ( $H_n$ ) sigue las siguientes expresiones, según la situación de funcionamiento.

$$H_{n,b} = H_{\text{bruto}} + \Delta H_{\text{pérdidas}}$$

$$H_{n,t} = H_{\text{bruto}} + \Delta H_{\text{embalse superior}} - \Delta H_{\text{pérdidas}}$$

Analizando dichas expresiones, es posible apreciar que al salto bruto de la central, indicado su valor en el apartado “Ubicación del embalse superior”, se le suman las pérdidas de los componentes, pues a la hora de bombear, es necesario cubrir dichas pérdidas. En el turbinado, por su parte, al salto bruto se le suma la altura del agua del embalse superior, variable con el tiempo conforme se turбина, disminuyendo, mientras que le se restan las pérdidas hidráulicas. Cabe indicar, que para este caso de turbinado, se coge el nivel máximo del embalse, con el fin de obtener, posteriormente, el valor máximo de la potencia suministrada.

Por otro lado, en el caso de la central que se está diseñando, los diferentes elementos, que generan pérdidas hidráulicas se describen a continuación, utilizándose el caudal de diseño para los cálculos.

### 15.1. Pérdidas en la tubería forzada

En las pérdidas en la tubería forzada se debe distinguir entre pérdidas primarias y secundarias, siendo su cálculo diferente en cada caso.

#### 15.1.1. Pérdidas primarias

Estableciéndose una velocidad de circulación del agua de 10 m/s y conocido el caudal, se calcula el diámetro de la tubería, el cual se ha utilizado también en la galería de conducción como ya se ha indicado.

$$S = \frac{Q}{v} = \frac{79.365}{10} = 7.9365 \text{ m}^2 \rightarrow D = \sqrt{\frac{4 \cdot S}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 7.9365}{\pi}} = 3.1788 \text{ m}$$

Las pérdidas de la tubería siguen la siguiente expresión:

$$H_r = \lambda \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g}$$

El coeficiente  $\lambda$  se obtiene a través del diagrama de Moody, en el cual se entra a través de los parámetros dispuestos a continuación.

$$\begin{cases} \frac{K}{D} = \frac{0.00015}{3.1788} = 0.00004719 \\ v \cdot D(\text{cm}) = 10 \cdot 317.88 = 3178.84 \end{cases}$$

Así, entrando con ambos valores en el diagrama de Moody, se obtiene un valor para el parámetro de  $\lambda = 0.011$ .

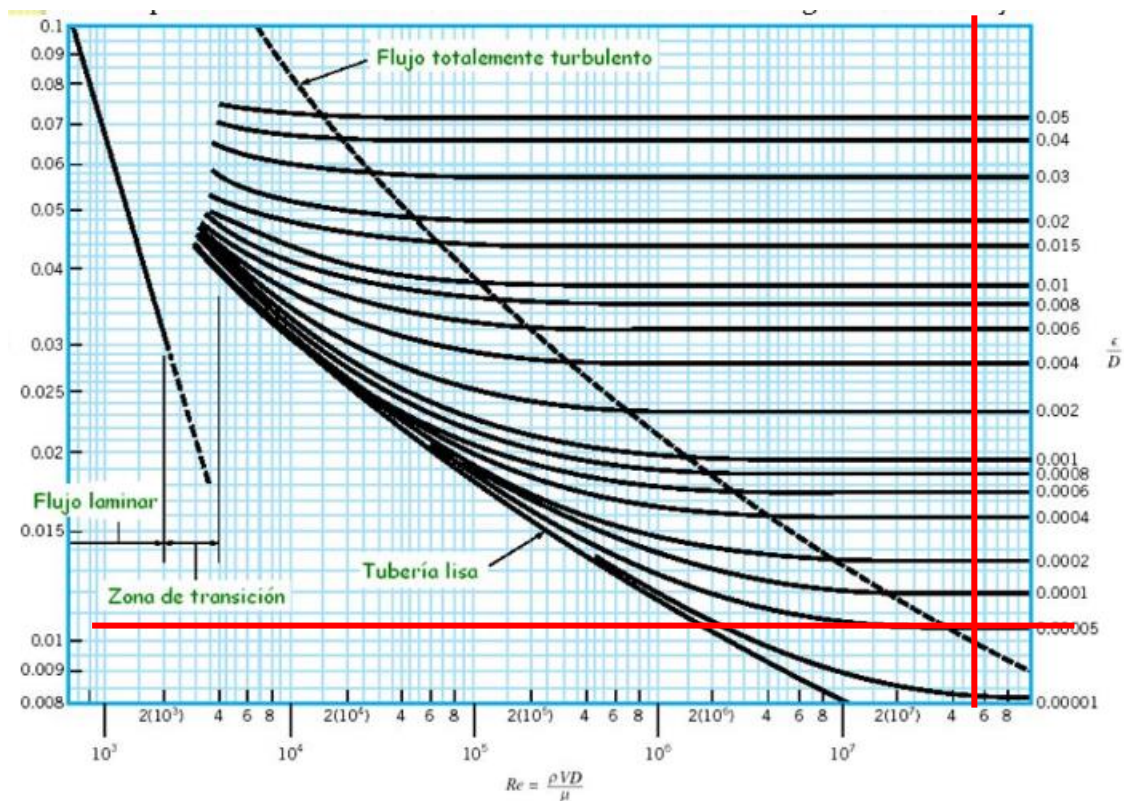


Imagen 36. Diagrama de Moody



Con una longitud de la tubería forzada de 776 metros y conocidos los demás parámetros, se pueden calcular las pérdidas primarias.

$$H_{rp} = \lambda \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g} = 0.011 \cdot \frac{776}{3.1788} \cdot \frac{10^2}{2 \cdot 9.81} = 13.686 \text{ m}$$

#### 15.1.2. Pérdidas secundarias

Las pérdidas secundarias corresponden con aquellas producidas por la existencia de elementos en la tubería forzada tales como codos, cambios de diámetro o válvulas, entre otros. De esta manera, su obtención es la siguiente.

$$H_{rs} = \frac{v^2}{2g} \cdot \sum_{n=1}^i \xi_n$$

Para su cálculo, como se puede ver, es necesario conocer qué y cuantos elementos existen en la tubería a estudiar, siendo en este caso dos codos y una válvula.

En el caso de los codos, ambos poseen un ángulo de 150° y con un radio de curvatura de 3 m, por lo que su coeficiente de pérdidas es el siguiente.

$$r_{\text{codos}} = 3 \text{ m}$$

$$\frac{r_{\text{codos}}}{D} = \frac{3}{3.1788} = 0.9437$$

Para un ángulo de los codos de 90°, el coeficiente se obtiene siguiendo la tabla de a continuación.

R/D	0.4	0.5	1	1.5	2	3	4	6	10
$\xi_r(90^\circ)$	1.3	1	0.55	0.4	0.33	0.27	0.25	0.45	0.50

Tabla 5. Coeficientes de pérdidas en codos de 90°

$$\xi_r(90^\circ) = 0.55$$

Así, puesto que los codos tienen un ángulo ( $\alpha$ ) de 150°, el coeficiente debe ser corregido, calculándose a través de la siguiente expresión:

$$\xi_r = n \cdot \left( \xi_r(90^\circ) \cdot \frac{\alpha}{90} \right) = 2 \cdot \left( 0.55 \cdot \frac{150}{90} \right) = 1.83$$

Para la válvula, esta será de compuerta considerada totalmente abierta, con un coeficiente indicado a continuación.

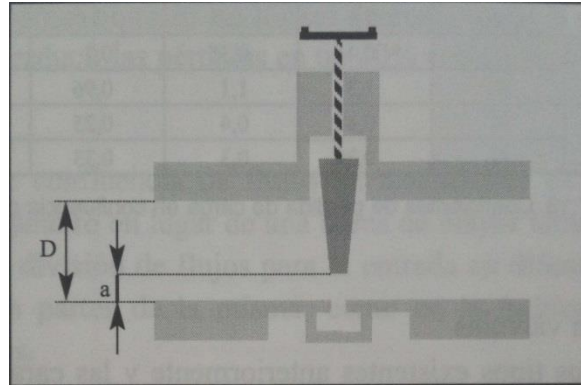


Imagen 37. Válvula de compuerta

Circular		Rectangular	
$a/D$	$K_p$	$a/D$	$K_p$
1/8	90	1/10	90
2/8	17	2/10	45
3/8	7,6	4/10	8,1
4/8	2,1	6/10	2,1
5/8	0,8	8/10	0,4
6/8	0,26	10/10	0,02
7/8	0,07		
8/8	0,02		

Tabla 6. Coeficientes de pérdidas en válvulas de compuerta

$$\frac{S}{D} = 1 \rightarrow \xi = 0.02$$

Por último, cabe constatar además las pérdidas por la entrada de agua a la tubería forzada desde la presa, es decir, la toma de aguas. Así, dicha toma se hace desde el fondo del embalse, con un comienzo de la misma a ras de la pared interna de la presa.

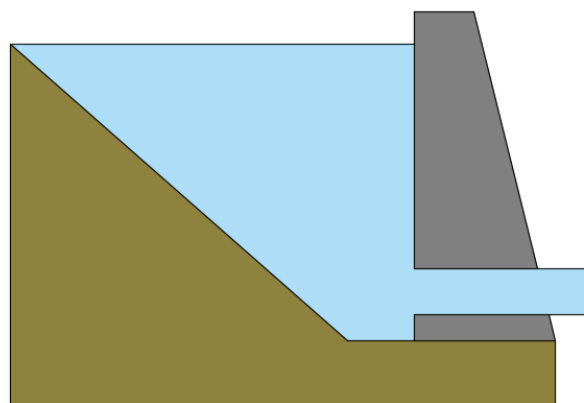


Imagen 38. Toma de agua en el fondo del embalse

La obtención del coeficiente de pérdidas es de la siguiente manera:

$$\xi_r = 0.42 \cdot \left(1 - \frac{d^2}{D^2}\right) = 0.42 \cdot \left(1 - \frac{3.1788^2}{20.18^2}\right) = 0.410$$

De esta forma, una vez determinados los diferentes  $\xi$  de cada elemento, se calculan las pérdidas secundarias totales.

$$H_{rs} = \frac{v^2}{2g} \cdot (\xi_{r1} + \xi_{r2} + \xi) = \frac{10^2}{2 \cdot 9.81} \cdot (1.83 + 0.02 + 0.410) = 3.929 \text{ m}$$

## 15.2. Pérdidas hidráulicas totales

Por último, sabiéndose ya tanto las pérdidas primarias como las secundarias, se obtienen las pérdidas totales en la tubería forzada.

$$H_r = H_{rp} + H_{rs} = 13.686 + 3.929 = 17.615 \text{ m}$$

Con el valor de todas las pérdidas, se obtienen las respectivas alturas netas.

$$H_{n,b} = H_{bruto} + \Delta H_{pérdidas} = 250 + 17.615 = 267.615 \text{ m}$$

$$H_{n,t} = H_{bruto} + \Delta H_{embalse superior} - \Delta H_{pérdidas} = 250 + 20.18 - 17.615 = 252.566 \text{ m}$$

## 16. Diseño de los elementos estructurales

Además del embalse inferior y superior, cabe dimensionar y diseñar los demás elementos que constituyen la central desde el punto de vista estructural. Así, a continuación, se describen las características de cada uno de ellos.

La disposición de los diferentes componentes que constituyen la central se incluye en el plano 2, en una vista de perfil.

### 16.1. Rejas metálicas

El objeto de la incorporación las rejas metálicas, tal y como se ha mencionado previamente, es el impedir que objetos entren dentro de las entrañas de la central, pudiendo ocasionar graves problemas en la misma, como obstrucción de la tubería forzada o daños en la turbina.

Puesto que se trata de una central hidroeléctrica reversible, el agua puede entrar a la central tanto desde el embalse superior (turbinado) como del inferior (bombeo), por lo que se deben proteger ambas entradas. Así, resulta necesario colocar rejas metálicas de protección a la entrada de la toma de agua y a la entrada del desagüe, contando la misma con un sistema de limpieza de las rejillas automatizado. Con una separación entre los barrotes es de unos 7 cm, el área afectada por las rejas metálicas corresponde con la propia de cada elemento en el que se instalan.

### 16.2. Chimenea de equilibrio

La chimenea de equilibrio de presiones a diseñar se va a ubicar en el tramo recto superior de la tubería forzada, antes del codo, a una cota de elevación de 1475 metros sobre el nivel del mar. Ésta se caracteriza ser vertical y cilíndrica, teniendo un diámetro interior de unos 3.50 metros, salvo en la conexión con la tubería forzada en donde el diámetro se reduce al propio de la tubería, y una altura total de 23 metros, superior al nivel máximo del embalse aguas arriba.

### 16.3. Tubería forzada

Los aspectos referidos al diseño de la tubería forzada han quedado definidos en el apartado de cálculo de las pérdidas hidráulicas. De esta manera, la tubería forzada tiene forma cilíndrica, un tubo de acero, con un diámetro interior de 3.17 metros y una longitud total de 776 metros. En su inicio, funcionando la central en turbinado, la toma de agua se realiza en el fondo del embalse superior, existen dos codos de unos 150 ° en su trayectoria, y termina en la sala de máquinas, donde se instala una válvula de compuerta totalmente abierta para la regulación del caudal entrante a la turbina.

### 16.4. Desagüe

El vertido del agua al embalse superior en los periodos de generación de energía, y de toma de agua en los periodos de bombeo al embalse superior, se realiza a través de un desagüe situado en el propio embalse inferior, con el fin de conseguir que el suministro de agua a bombear siempre esté garantizado.

### 16.5. Turbina-Bomba

Así, con el salto neto obtenido y el caudal circulante, se selecciona el conjunto turbina-bomba, siguiendo el siguiente gráfico.

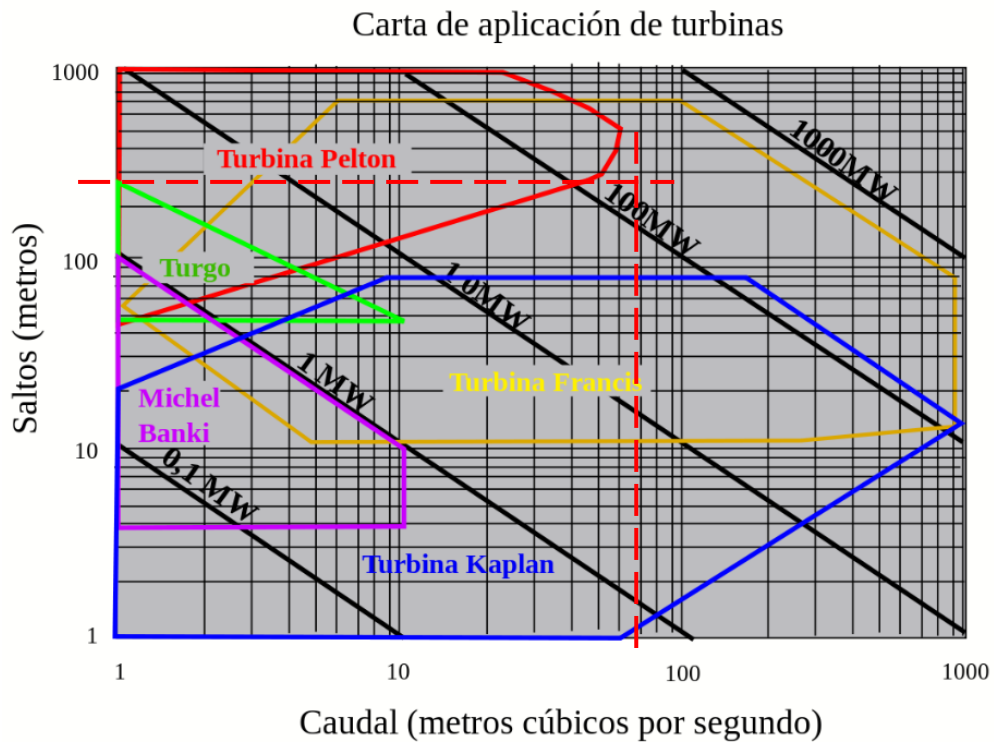


Imagen 39. Carta de aplicación de turbinas

Como se puede ver, el tipo de turbina más adecuada para la configuración en cuestión es la turbina Francis.

Con un rendimiento de la turbina del 89%, los diferentes elementos constitutivos y parámetros característicos no se definen de momento, pues aún no se sabe si el valor de la potencia resultará demasiado elevado y sería necesario instalar más de un grupo de turbinas.

## 17. Cálculo de la potencia hidráulica

Una vez dimensionados los elementos, es posible calcular cual sería la potencia hidráulica que es necesaria para bombear el agua por un lado y la que es capaz de ofrecer la turbina en las horas punta. De esta manera, la potencia se calcula siguiendo la siguiente expresión:

$$P = \eta \cdot \rho \cdot g \cdot H_n \cdot Q$$

Donde: -  $\eta$ : rendimiento de la turbina

-  $\rho$ : densidad del agua

-  $g$ : fuerza de la gravedad

-  $H_n$ : Salto neto de la central

-  $Q$ : caudal de equipamiento de la central

Así, la potencia a ejercer durante el bombeo ( $P_b$ ) corresponde con:

$$P_b = \frac{1}{\eta_b} \cdot \rho \cdot g \cdot H_{n,b} \cdot Q_b = \frac{1}{0.89} \cdot 1000 \cdot 9.81 \cdot 267.615 \cdot 79.365 = 234109644.4 \text{ W}$$

$$P_b = 234.110 \text{ MW}$$

Mientras que la potencia desarrollada durante el periodo de generación de energía ( $P_t$ ) es de:

$$P_t = \eta_t \cdot \rho \cdot g \cdot H_{n,t} \cdot Q_t = 0.89 \cdot 1000 \cdot 9.81 \cdot 252,566 \cdot 69.444 = 153134159.3 \text{ W}$$

$$P_t = 153.134 \text{ MW}$$

Puesto que la potencia tanto de bombeo como de turbinado resultantes son bastante elevadas, sería necesario introducir una turbina de gran potencia. Con el fin de mitigar este hecho, se va a decidir por la instalación de varios grupos de turbinas, siendo un total de 4 grupos. Así, a cada grupo va a llevar una cuarta parte del caudal del caudal de equipamiento, con una potencia de cada grupo menor, pero siendo la total igual, pues es la suma de todos los grupos.

Para la instalación de los cuatro grupos mencionados, es requerida una bifurcación de la tubería forzada en su tramo final, a llegada a la sala de máquinas, en cuatro conductos cortos que alimenten a cada una de las turbinas a implantar. Además, al separarse en cuatro tramos la tubería forzada, se instalan cuatro válvulas de compuerta totalmente abierta, en vez de una, aunque este hecho no afecta significativamente a las pérdidas hidráulicas.

El caudal de equipamiento para cada grupo es el siguiente.

$$Q_{g1} = Q_{g2} = Q_{g3} = \frac{Q}{4} = \frac{79.365}{4} = 19.841 \text{ m}^3/\text{s}$$

Por tanto, ambas potencias calculadas para cada grupo resultan:

$$P_b = \frac{1}{\eta_b} \cdot \rho \cdot g \cdot H_{n,b} \cdot Q_b = \frac{1}{0.89} \cdot 1000 \cdot 9.81 \cdot 267.615 \cdot 19.841 \cdot 10^{-6} = 58.527 \text{ MW}$$

$$P_t = \eta_t \cdot \rho \cdot g \cdot H_{n,t} \cdot Q_t = 0.89 \cdot 1000 \cdot 9.81 \cdot 252,566 \cdot 17.361 \cdot 10^{-6} = 38.283 \text{ MW}$$

Ahora, con las potencias de cada grupo, es posible ya dimensionar cada una de las turbinas necesarias.

La disposición de los cuatro grupos de turbinas en la sala de máquinas, así como el perfil de cada grupo se refleja en el plano 3.

## 17.1. Dimensionado de las turbinas

### 17.1.1. Velocidad específica

La velocidad específica,  $n_s$ , se define como aquella a la que gira un modelo tipo similar geométricamente a la turbina que se busca, con unas condiciones establecidas de un salto neto ( $H_n$ ) de un metro generando una potencia de 1kW.

El procedimiento para calcularla es el siguiente:

1. Se obtiene una velocidad específica de partida, de prueba, en función de datos de fabricantes o fórmulas empíricas. Así, se emplea la siguiente expresión:

$$n'_s = 3470 \cdot H_n^{-0.625} = 3470 \cdot 267.267^{-0.625} = 105.557 \text{ rpm}$$

2. Obtención de la velocidad de giro sincrónica de prueba,  $n'$ :

$$n'_s = \frac{n' \cdot \sqrt{P}}{H_n^{1.25}} \rightarrow n' = \frac{n'_s \cdot H_n^{1.25}}{\sqrt{P}} = \frac{105.557 \cdot 267.267^{1.25}}{\sqrt{58527.411}} = 471.893 \text{ rpm}$$

3. Determinación del número de pares de polos, para una frecuencia de 50 Hz en este caso.

$$p = \frac{60 \cdot f}{n'} = \frac{60 \cdot 50}{471.893} = 6.35 \text{ pares de polos}$$

Se establece un valor par de pares de polos más próximo al resultado obtenido anteriormente, siendo este valor de **6 pares de polos**.

4. Con los pares de polos definidos, se sigue el proceso inverso de cálculo. Así, se calcula la velocidad de sincronismo definitiva,  $n$ :

$$n = \frac{60 \cdot f}{p} = \frac{60 \cdot 50}{6} = 500 \text{ rpm}$$

Y con esta misma, se obtiene el valor definitivo de la velocidad específica de la turbina:

$$n_s = \frac{n \cdot \sqrt{P}}{H_n^{1.25}} = \frac{500 \cdot \sqrt{58527.411}}{267.615^{1.25}} = 111.75 \text{ rpm}$$

### 17.1.2. Dimensionado del rodete

Las dimensiones del rodete se calculan a continuación.

En primer lugar es necesario conocer el valor del coeficiente la velocidad periférica,  $k_u$ , el cual depende de la velocidad específica, como se muestra en la siguiente expresión.

$$k_u = 0.31 + 2.5 \cdot 10^{-3} \cdot n_s = 0.31 + 2.5 \cdot 10^{-3} \cdot 111.75 = 0.5894$$

Con este parámetro se calcula el diámetro de salida o de descarga.

$$k_u = \frac{\pi \cdot D_3 \cdot n}{60 \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H_n}}$$

$$D_3 = \frac{k_u \cdot 60 \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H_n}}{\pi \cdot n} = \frac{0.5897 \cdot 60 \cdot \sqrt{2 \cdot 9.81 \cdot 267.615}}{\pi \cdot 500} = 1.631 \text{ m}$$

El resto de dimensiones características del rodete se calculan a partir de la velocidad específica y con el diámetro de salida, ya que están referidas a este último.

$$\frac{D_1}{D_3} = 0.4 + \frac{94.5}{n_s} \rightarrow D_1 = D_3 \cdot \left(0.4 + \frac{94.5}{n_s}\right) = 1.631 \cdot \left(0.4 + \frac{94.5}{111.75}\right) = 2.03 \text{ m}$$

$$\frac{D_2}{D_3} = \frac{1}{0.96 + 0.00038 \cdot n_s} \rightarrow D_2 = \frac{D_3}{0.96 + 0.00038 \cdot n_s} = \frac{1.631}{0.96 + 0.00038 \cdot 111.75} = 1.18 \text{ m}$$

$$\frac{H_1}{D_3} = 0.094 + 0.00025 \cdot n_s \rightarrow H_1 = D_3 \cdot (0.094 + 0.00025 \cdot n_s)$$

$$H_1 = 1.631 \cdot (0.094 + 0.00025 \cdot 111.75) = 0.20 \text{ m}$$

$$\frac{H_2}{D_3} = \frac{1}{3.16 + 0.0013 \cdot n_s} \rightarrow H_2 = \frac{D_3}{3.16 + 0.0013 \cdot n_s} = \frac{1.631}{3.16 + 0.0013 \cdot 111.75} = 0.54 \text{ m}$$

### 17.1.3. Dimensionado del caracol

Las dimensiones del caracol, se obtienen siguiendo las siguientes expresiones, referidas al diámetro de descarga y a la velocidad específica.

$$\frac{A}{D_3} = 1.2 - \frac{19.56}{n_s} \rightarrow A = D_3 \cdot \left(1.2 - \frac{19.56}{n_s}\right) = 1.631 \cdot \left(1.2 - \frac{19.56}{111.75}\right) = 1.67 \text{ m}$$

$$\frac{B}{D_3} = 1.1 + \frac{54.8}{n_s} \rightarrow B = D_3 \cdot \left(1.1 + \frac{54.8}{n_s}\right) = 1.631 \cdot \left(1.1 + \frac{54.8}{111.75}\right) = 2.59 \text{ m}$$

$$\frac{C}{D_3} = 1.32 + \frac{49.25}{n_s} \rightarrow C = D_3 \cdot \left(1.32 + \frac{49.25}{n_s}\right) = 1.631 \cdot \left(1.32 + \frac{49.25}{111.75}\right) = 2.87 \text{ m}$$

$$\frac{D}{D_3} = 1.50 + \frac{48.8}{n_s} \rightarrow D = D_3 \cdot \left(1.50 + \frac{48.8}{n_s}\right) = 1.631 \cdot \left(1.50 + \frac{48.8}{111.75}\right) = 3.16 \text{ m}$$

$$\frac{E}{D_3} = 0.98 + \frac{63.60}{n_s} \rightarrow E = D_3 \cdot \left(0.98 + \frac{63.60}{n_s}\right) = 1.631 \cdot \left(0.98 + \frac{63.60}{111.75}\right) = 2.53 \text{ m}$$

$$\frac{F}{D_3} = 1 + \frac{131.4}{n_s} \rightarrow F = D_3 \cdot \left(1 + \frac{131.4}{n_s}\right) = 1.631 \cdot \left(1 + \frac{131.4}{111.75}\right) = 3.55 \text{ m}$$

$$\frac{G}{D_3} = 0.89 + \frac{96.5}{n_s} \rightarrow G = D_3 \cdot \left(0.89 + \frac{96.5}{n_s}\right) = 1.631 \cdot \left(0.89 + \frac{96.5}{111.75}\right) = 2.86 \text{ m}$$



$$\frac{H}{D_3} = 0.79 + \frac{81.75}{n_s} \rightarrow H = D_3 \cdot \left(0.79 + \frac{81.75}{n_s}\right) = 1.631 \cdot \left(0.79 + \frac{81.75}{111.75}\right) = 2.48 \text{ m}$$

$$\frac{I}{D_3} = 0.1 + 0.00065 \cdot n_s \rightarrow I = D_3 \cdot (0.1 + 0.00065 \cdot n_s)$$

$$I = 1.631 \cdot (0.1 + 0.00065 \cdot 111.75) = 0.28 \text{ m}$$

$$\frac{L}{D_3} = 0.88 + 0.00049 \cdot n_s \rightarrow L = D_3 \cdot (0.88 + 0.00049 \cdot n_s)$$

$$L = 1.631 \cdot (0.88 + 0.00049 \cdot 111.75) = 1.52 \text{ m}$$

$$\frac{M}{D_3} = 0.60 + 0.000015 \cdot n_s \rightarrow M = D_3 \cdot (0.60 + 0.000015 \cdot n_s)$$

$$L = 1.631 \cdot (0.860 + 0.000015 \cdot 111.75) = 0.98 \text{ m}$$

Cabe mencionar que las diferentes dimensiones, tanto del rodete como del caracol se recogen en el plano 4.

#### 17.1.4. Cavitación

Para evitar la cavitación, es decir, la formación de vacíos dentro de un líquido cuando la presión local es inferior a la de vapor y las partículas del líquido se adhieren a los bordes de la trayectoria, es necesario que el coeficiente de cavitación o de Thoma ( $\sigma$ ) tenga un valor relativamente elevado. De esta forma, un coeficiente alto implica que la erosión debida el efecto de la cavitación se ve disminuida. El coeficiente de cavitación se halla de la siguiente manera.

$$\sigma = \frac{h_b - h_v - h_s}{H_n}$$

Siendo: -  $h_b$ : Presión atmosférica en metros columna de agua.

-  $h_v$ : Presión de vapor para el agua, en función de la temperatura de la misma.

-  $h_v$ : Sumergencia o altura de succión.

-  $H_n$ : Salto neto

No obstante, este coeficiente también se puede calcular mediante esta otra expresión, ya que se encuentra relacionado con la velocidad específica.

$$\sigma = 7.54 \cdot 10^{-5} \cdot n_s^{1.41} = 7.54 \cdot 10^{-5} \cdot 111.75^{1.41} = 0.0583$$

## 18. Conjunto motor-alternador

Conocidas tanto la potencia para el bombeo como para el turbinado, se procede a continuación al cálculo del conjunto motor-alternador de cada grupo. Este conjunto va a consistir en una máquina asíncrona reversible, es decir, que pueda actuar como motor o como alternador según sea la necesidad del momento. La elección de una máquina asíncrona o de inducción de corriente alterna se debe al hecho de que este tipo de máquinas eléctricas presentan un mejor comportamiento y son más estables y eficientes para la generación a grandes potencias. Además, necesitan menos mantenimiento en comparación de las otras máquinas eléctricas existentes, siendo más compactas y económicas.

Se va a caracterizar por tratarse de una máquina de corriente alterna, trifásica de rotor bobinado, de disposición vertical y prevista para trabajar a una altura de 1225 metros sobre el nivel del mar. Asimismo, va a constar de una batería de condensadores, regulados de modo automático, con el fin de garantizar que el factor de potencia sea alto siempre, evitándose así posibles penalizaciones en la facturación.

### 18.1. Caracterización de la máquina de inducción

La turbina seleccionada en apartados anteriores es de tipo Francis, con una velocidad de sincronismo ( $n_1$ ) de 500 rpm, la cual va a coincidir con la propia del conjunto motor-alternador, pues no se incorpora ningún sistema reductor o multiplicador de velocidades. Así, con la velocidad de rotación establecida y con una frecuencia de 50 Hz, se puede obtener el número de pares de polos de la máquina.

$$n_1 = \frac{60 \cdot f}{p} \rightarrow p = \frac{60 \cdot f}{n_1} = \frac{60 \cdot 50}{500} = 6 \text{ pares de polos}$$

Posee, por tanto, un total de 12 polos

La máquina asíncrona va a tener un conexionado en estrella, lo que implica que la intensidad de fase va a coincidir con la de línea, mientras que la tensión de fase va a ser distinta a la de línea.

#### Conexión Y

$$I_f = I_L \text{ (A)}$$

$$U_f = \frac{U_L}{\sqrt{3}} \text{ (V)}$$

La velocidad de giro nominal del motor  $n$  es de 471.817 rpm, redondeándose a un valor de 472 rpm. Con esta velocidad y la de sincronismo, se puede obtener cual es el sincronismo ( $s$ ) de la máquina.

$$s = \frac{n_1 - n}{n_1} = \frac{500 - 472}{500} = 0.056$$

La máquina de inducción se va a caracterizar por tener un factor de potencia de 0.87 inductivo ( $\cos\phi=0.87$  ind) y una tensión de entrada de 7967/13800 V. Puesto que el conexionado del conjunto es en estrella, la tensión nominal va a ser de 13.8 kV de línea y, por tanto, 7.96 kV por fase.

Del apartado del cálculo de la potencia, se conoce el valor de la potencia a desarrollar por el motor en cada uno de los grupos diseñados, siendo de 58527.411 kW de potencia útil, mientras que la potencia útil generada es de 38283.539 kW

Fruto del funcionamiento de la máquina de inducción en carga como motor tienen lugar una serie de pérdidas internas, lo que hace que para producir esta potencia útil a la salida sea necesaria la inyección de una potencia superior. Las diferentes pérdidas ocurridas se reflejan en el balance de potencias. De modo análogo, cuando la máquina funciona como generador, la energía generada obtenida a la salida es inferior a la realmente producida a la entrada.

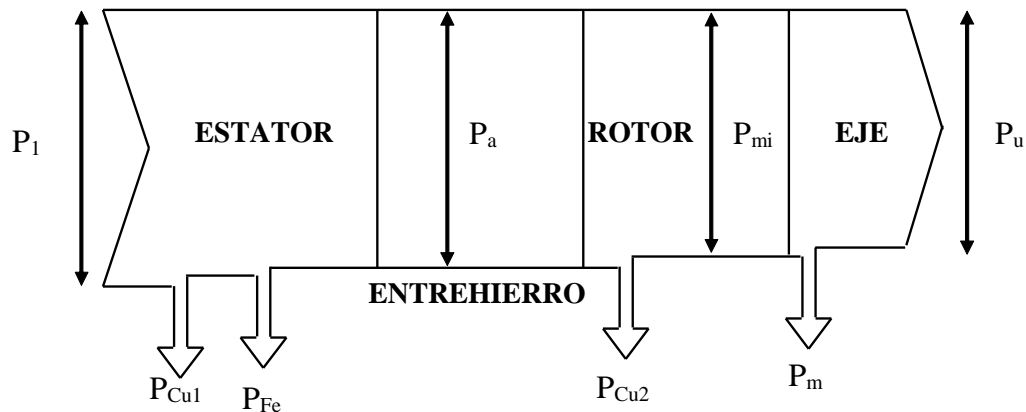


Imagen 40. Balance de potencias de una máquina asíncrona como motor

Las diferentes potencias y pérdidas reflejadas en el balance son las siguientes:

- $P_1$ : Potencia de absorbida de la red.
- $P_{Cu1}$ : Pérdidas en el cobre del estator.
- $P_{Fe}$ : Pérdidas en el hierro del estator.
- $P_a$ : Potencia electromecánica en el entrehierro.
- $P_{Cu2}$ : Pérdidas en el cobre del rotor.
- $P_{mi}$ : Potencia mecánica interna.
- $P_m$ : Pérdidas mecánicas del rotor.
- $P_u$ : Potencia útil.

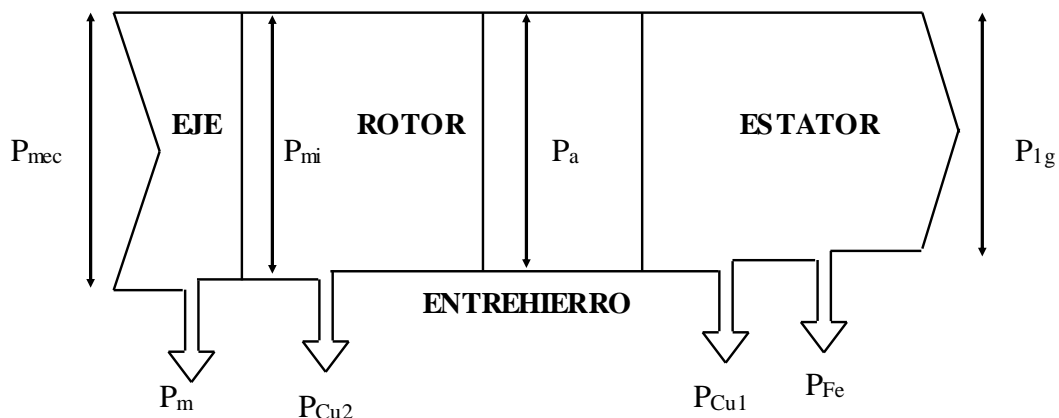


Imagen 41. Balance de potencias de una máquina asíncrona como generador

Siendo las potencias en este caso:

- $P_{1g}$ : Potencia eléctrica generada en el estator de la máquina.
- $P_m$ : Pérdidas mecánicas del rotor.
- $P_{mi}$ : Potencia mecánica interna.
- $P_{Cu2}$ : Pérdidas en el cobre del rotor.
- $P_a$ : Potencia electromecánica en el entrehierro.
- $P_{Fe}$ : Pérdidas en el hierro del estator.
- $P_{Cu1}$ : Pérdidas en el cobre del estator.
- $P_{mec}$ : Potencia mecánica absorbida por el eje.

Las diferentes pérdidas mencionadas se reflejan y recogen dentro del rendimiento de la máquina, siendo éste de un 93%. La máquina tiene el mismo rendimiento para el caso de funcionamiento como motor o como generador. Por tanto, la potencia a inyectar durante el bombeo y la potencia aprovechable durante la producción de energía corresponden con los siguientes valores, ambos por grupo.

Como motor:

$$P_{1b} = \frac{P_u}{\eta} = \frac{58527.411}{0.93} = 62932.7 \text{ kW}$$

Como alternador:

$$P_{1g} = \eta \cdot P_{mec} = 0.93 \cdot 38283.439 = 35603.7 \text{ kW}$$

La potencia nominal de la máquina reversible es la de mayor valor, siendo, en este caso, de 62392.7 kW, que aproximando a un valor más estándar, es de 65 MW.

Así, las características principales del conjunto se recogen en la siguiente tabla.

Características de la máquina asíncrona	
<b>Tensión</b>	13.8/7.96 kV (Y/ $\Delta$ )
<b>Frecuencia</b>	50 Hz
<b>rpm sincronismo</b>	500
<b>Nº de fases</b>	3
<b>Potencia</b>	65 MW
<b>Intensidad</b>	3125/5414 A (Y/ $\Delta$ )
<b>cos <math>\varphi</math></b>	0.87 ind
<b>Rendimiento</b>	93 %
<b>Disposición de la máquina</b>	Vertical
<b>Bobinado</b>	Rotor bobinado

Tabla 7. Características de la máquina asíncrona

Dadas las características de la misma, de elevada potencia y tensión, se opta por la instalación de una máquina asíncrona doblemente alimentada en cada uno de los grupos generadores existentes.

## 18.2. Máquina asíncrona doblemente alimentada

Puesto que se trata de una máquina de inducción doblemente alimentada y reversible, se ha de establecer un control para cuando ésta esté funcionando en cada una de sus posibilidades.

Como paso previo, se introduce brevemente la tecnología propia de las máquinas doblemente alimentadas.

Este tipo de máquinas son implementadas en su mayoría para aplicaciones de generación eólica, aunque también pueden verse en generadores hidráulicos. Así la explicación se realiza desde el punto de vista del funcionamiento del conjunto motor-generator como alternador. Esta metodología se fundamenta en la variación de la velocidad de la máquina mediante la electrónica de potencia, en este caso siguiendo la línea de desarrollo de la inyección de frecuencia variable en el rotor, en el caso de generadores. Además, como ventajas de la implementación de esta tipología de máquinas en la generación hidroeléctrica se encuentran las siguientes:

- Regulación continuada de la potencia, pudiéndose trabajar con un rango un 10% superior e inferior de la misma.
- Optimización del rendimiento en función del caudal y salto de trabajo.
- Facilidad en el arranque del bombeo.
- Rapidez en la respuesta ante transitorios en la red.

No obstante, también existe una serie de inconvenientes por el uso de las mismas tales como:

- Aumento del coste equipo, tanto por parte del conjunto motor-generator como de la electrónica de potencia.
- Requerimiento mayor en el espacio destinado a la caverna.
- Aumento en los costes del mantenimiento.

Fruto de la acción de la fuerza del viento o del agua sobre el rotor de la máquina, este girará de modo que la energía mecánica se transformará en energía eléctrica. Para obtener un rendimiento superior, y garantizar un buen funcionamiento de la máquina, se incorpora en el lado del rotor un sistema de conversión electrónico. Dicho sistema, constituido por elementos de la electrónica de potencia, consta en este caso por dos convertidores trifásicos, los cuales funcionan como inversores o rectificadores indistintamente. Se denomina así convertidor del lado red a aquel que se conecta a la red y de forma análoga, el convertidor lado máquina corresponde al del rotor, interconectando estos elementos el rotor y la red, transmitiéndose el flujo de potencia. Asimismo, entre ambos convertidores existe un filtro para mantener los valores dentro del rango de trabajo, evitándose desviaciones inoportunas.

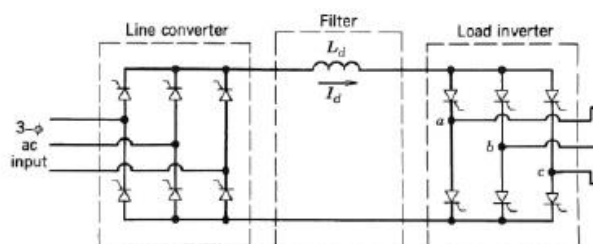


Imagen 42. Esquema sistema de conversión

Con la incorporación de este sistema, el rotor, su campo magnético, no resulta inducido por el estator de manera directa, pues es controlado mediante la acción del convertidor lado máquina. De este modo, el control del campo se extiende al resto de variables eléctricas del rotor y, por ende, a la potencia activa y reactiva que se intercambia con la red eléctrica. El control realizado en el rotor se traduce en las siguientes consignas:

- Permite la producción de potencia activa en un rango de velocidades desde velocidades inferiores a la de sincronismo hasta superiores a la misma. La potencia del convertidor es proporcional al margen de velocidad de trabajo.
- Permite controlar la potencia reactiva del estator, la máquina puede trabajar con factor de potencia unidad e incluso aportar energía reactiva.

Puesto que se trata de una máquina reversible, que puede actuar tanto como generador como motor según el requerimiento del momento de trabajo, cuando la máquina funciona como motor, también es necesaria la incorporación de un sistema conversor en el lado del estator, constituyéndose el mismo por un convertidor lado máquina para el estator y un convertidor lado red, produciéndose una situación de control similar a la del funcionamiento como alternador.

El esquema de la máquina de inducción doblemente alimentada queda reflejado en el plano 5.

### 18.3. Accesorios de la máquina de inducción

Entre los diferentes elementos de los que consta cada una de las máquinas asíncronas trifásicas a implementar cabe mencionar los siguientes.

La instalación de sondas de temperatura, tanto en el devanado (3 sondas PT-100) como en cada rodamiento (1 Pt-100), es fundamental para la protección de la máquina. Con la información aportada por dichas sondas, y mediante el autómata programable, la central será parada ante una situación de aumento anormal de la temperatura, la cual pueda desembocar en algún tipo de avería de gran alcurnia.

Por otro lado, la incorporación de resistencias de caldeo o calefacción tendrán la finalidad de proteger el conjunto motor-generador ante los efectos adversos que la humedad en el aislamiento pudiera ocasionar en aquellos periodos en que la central se encuentre parada, como por ejemplo, por insuficiencia de agua.

Asimismo, los detectores de velocidad de giro de la máquina son elementales para un correcto y eficaz acoplamiento del sistema a la red eléctrica.

Por último, la máquina doblemente alimentada a instalar deberá tener unas características constructivas óptimas para poder trabajar la temperatura ambiente de la ubicación de la central hidroeléctrica permanentemente, y trabajando a plena carga.

## 19. Transformador de tensión

En este punto, la máquina asíncrona reversible ya se encuentra dimensionada, con una tensión nominal de funcionamiento de 13.8 kV de línea. Para ser alimentada o verter la energía generada, la máquina debe conectarse a una línea de transporte eléctrico. En la zona en donde se ubica la central hidroeléctrica de bombeo no discurre una línea de esa tensión. Por lo tanto, para poder conectarse la central a la red, se necesita elevar la tensión, es decir, se requiere la instalación de un transformación de tensión. Éste cumple dos funciones: por un lado la de elevar la tensión cuando se vierta energía al sistema, y por otro lado reducir la tensión cuando se debe inyectar energía al motor.

No obstante, se decide por la instalación de dos transformadores de estas características, trabajando en paralelo y repitiéndose las cargas (dos grupos para cada uno).

### 19.1. Características eléctricas del transformador

A continuación, se fijan algunas de las características principales del mismo, seleccionado del catálogo de transformadores del fabricante WEG.

Características eléctricas de transformador trifásico		
Conexionado		Dy11
Potencia		150 MVA
Tensión primario		69±8x1.25% kV
Tensión secundario		13.8 kV
Frecuencia de funcionamiento		50 Hz
Conmutación		CBC
Instalación		interior
Temperatura máxima ambiente		40 °C
Elevación de temperatura de los devanados media		65 °C
Elevación de temperatura de los devanados punto más caliente		80 °C
Clase del material aislante		E (120 °C)
Pruebas dieléctricas		
	Fase	Neutral
Nivel de aislamiento	72.5/15 kV	-/15 kV
Tensión de prueba	350/110 kV	-/110 kV
Tensión de prueba (cortado)	385/121 kV	-
Tensión aplicada	140/40 kV	-/34 kV
Tensión inducida	2xVn	2xVn
Temperatura de referencia @ 85.0 °C - ONAF		100 %
Pérdidas en vacío		65000 W
Pérdidas en cortocircuito		-
Pérdidas totales		350000 W
Corriente de excitación		0.32 %
Impedancia		13.64 %
Refrigeración		ONAF
Nivel de ruido		85 dB
Descargas parciales		300 pC
Corriente de Inrush		-

Factor K		K1
Regulación (100 % de carga)		
ONAF ( $\Phi=0.8$ )	ONAF ( $\Phi=0.9$ )	ONAF ( $\Phi=1.0$ )
6.83	4.025	1.22

Tabla 8. Características eléctricas del transformador

Por otro lado, de manera explicativa, se dispone ahora el respectivo circuito equivalente de un transformador por fase.

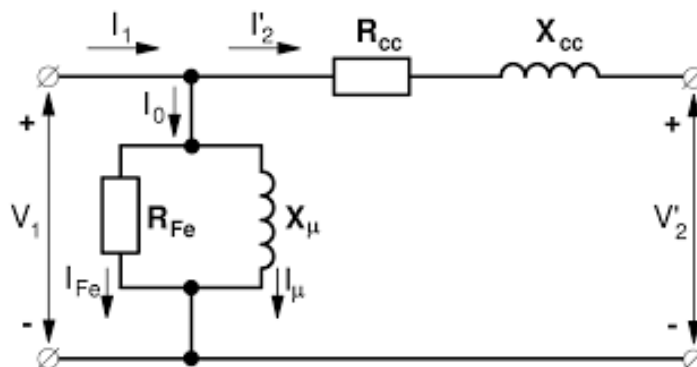


Imagen 43. Circuito equivalente de un transformador

Donde:  $V_1$ : Tensión de fase en el circuito primario.

$I_1$ : Intensidad de corriente por fase en el circuito primario.

$I_0$ : Intensidad de corriente en la rama de vacío.

$R_{Fe}$ : Resistencia en el hierro.

$X_\mu$ : Reactancia de magnetización.

$I_{Fe}$ : Intensidad de corriente de pérdidas en el hierro.

$I_\mu$ : Intensidad de corriente de magnetización o magnetizante.

$I'_2$ : Intensidad de corriente por fase del circuito secundario referida al primario.

$R_{cc}$ : Resistencia de cortocircuito.

$X_{cc}$ : Reactancia de cortocircuito.

$V'_2$ : Tensión por fase del secundario referida al primario.

#### 19.1.1. Características internas

A partir de la potencia aparente, en MVA, del transformador a implementar, se puede conocer el valor de la corriente nominal. Siendo el lado de mayor tensión considerado como circuito primario y, por lo tanto, el de menor tensión el secundario, y la conexión del primario en triángulo.

##### Conexión $\Delta$

$$U_f = U_L$$



$$I_f = \frac{I_L}{\sqrt{3}}$$

De esta forma, dada una tensión nominal de 66 kV de línea la intensidad de corriente de línea y de fase son las siguientes.

$$S_N = \sqrt{3} \cdot U_1 \cdot I_1 \rightarrow I_1 = \frac{S_N}{\sqrt{3} \cdot U_1} = \frac{150 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 66000} = 1312.16 \text{ A}$$

$$I_{1f} = \frac{I_1}{\sqrt{3}} = \frac{1312.16}{\sqrt{3}} = 757.58 \text{ A}$$

## 19.2. Rendimiento

Como ya se ha mencionado, la finalidad del transformador es que la máquina asíncrona introducida pueda conectarse a la red a una tensión adecuada. Así, este transformador tiene conectada como carga el motor-generator.

Como cualquier sistema, el transformador presenta una serie de pérdidas eléctricas y mecánicas durante su funcionamiento, por lo que resulta necesario conocerlas y de esta manera obtener el rendimiento de la máquina transformadora de tensión.

Funcionando la plena carga la máquina asíncrona, y con un factor de potencia de 0.87 (inductivo), de puede obtener el valor de la potencia activa desarrollada en el transformador.

$$S_N = \sqrt{3} \cdot U_1 \cdot I_1 = \frac{P_1}{\cos\varphi} \rightarrow P_1 = S_N \cdot \cos\varphi = 150 \cdot 10^6 \cdot 0.87 = 130500000 \text{ W} = 130500 \text{ kW}$$

Conocidas además las pérdidas internas, el valor de potencia activa de salida se calcula restándole a la potencia inicial las pérdidas nominales.

$$P_2 = P_1 - P_{Fe} - P_{Cu} = 130500000 - 350000 = 85980000 \text{ W} = 130150 \text{ kW}$$

Así, el rendimiento queda definido como el cociente entre la potencia de salida y la de entrada.

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100 = \frac{130150}{130500} \cdot 100 = 99.73 \%$$

## 19.3. Características constructivas

En lo que respecta a las características constructivas, algunas de ellas vienen recogidas en la siguiente tabla.

Características constructivas de transformador trifásico	
<b>Forma constructiva</b>	Conservador con bolsa
<b>Líquido aislante</b>	Mineral naftenico A
<b>Pintura acabado</b>	Cinza munsell N6.5
<b>Material de los conductores AT/BT</b>	Al/Al
<b>Boquillas de alta tensión</b>	Superior
<b>Boquillas de baja tensión</b>	Superior

Tabla 9. Características constructivas del transformador

Por otro lado, las dimensiones del transformador se indican en el plano 6.

#### 19.4. Transformador para equipos BT

Además de los transformadores principales que sirven de unión entre la central y la red de transporte, ajustando las tensiones de trabajo de cada zona, es necesaria también la incorporación de un transformador que alimente los equipos BT de la central.

La ubicación de dicho transformador va a ser en el lado de menor tensión, el de la central, de 13.8 kV. Así, tendrá que tener una relación de transformación de tensiones de 13.8/0.4 kV. De nuevo se recurre al fabricante de equipos transformadores WEG, seleccionándose el modelo “Transformador Aceite 30.0 kVA 13.8/0.4 kV CST ONAN”, con las siguientes características tanto eléctricas como constructivas.

Características eléctricas de transformador trifásico AT-BT		
Conexionado		Dyn11
Potencia		30 kVA
Tensión primario		13.8±4x0.6% kV
Tensión secundario		400V
Frecuencia de funcionamiento		50 Hz
Conmutación		CST
Instalación		interior
Temperatura máxima ambiente		40 °C
Elevación de temperatura de los devanados media		65 °C
Elevación de temperatura de los devanados punto más caliente		80 °C
Clase del material aislante		E (120 °C)
Pruebas dieléctricas		
	Fase	Neutral
Nivel de aislamiento	15/1.2 kV	-/1.5 kV
Tensión de prueba	95/30 kV	-/30 kV
Tensión de prueba (cortado)	105/33 kV	-
Tensión aplicada	34/10 kV	-/10 kV
Tensión inducida	2xVn	2xVn
Temperatura de referencia @ 85.0 °C - ONAF		100 %
Pérdidas en vacío		150 W
Pérdidas en cortocircuito		-
Pérdidas totales		695 W
Corriente de excitación		3.6 %
Impedancia		3.5 %
Refrigeración		ONAN
Nivel de ruido		48 dB
Descargas parciales		300 pC
Corriente de Inrush		-
Factor K		K1
Regulación (100 % de carga)		
ONAF ( $\Phi=0.8$ )	ONAF ( $\Phi=0.9$ )	ONAF ( $\Phi=1.0$ )
3.26	2.96	1.86

Tabla 10. Características eléctricas transformador equipos BT

Características constructivas de transformador para equipos auxiliares	
<b>Forma constructiva</b>	Sellado
<b>Líquido aislante</b>	Mineral naftenico A
<b>Pintura acabado</b>	Cinza munsell N6.5
<b>Material de los conductores AT/BT</b>	Al/Al
<b>Boquillas de alta tensión</b>	Superior
<b>Boquillas de baja tensión</b>	Lateral

*Tabla 11. Características constructivas transformador equipos BT*

Las dimensiones del mismo se recogen en el plano 7.

#### 19.5. Accesorios de los transformadores

De serie los transformadores contemplan una serie de elementos o accesorios, a saber:

- Accionamiento del conductor externo
- Base de apoyo
- Placa de características
- Radiadores fijos
- Soporte para pararrayos
- Soporte para poste
- Dispositivo de alivio de presión
- Puesta a tierra
- Ganchos de suspensión

## 20. Cálculo de la energía consumida o generada

En términos de energía, esta se define como la potencia desarrollada o consumida durante un periodo de tiempo determinado, tal y como indica la siguiente expresión.

$$E(t) = \int_0^T P(t) \cdot dt$$

No obstante, este cálculo de la energía varía según el funcionamiento de la central, por lo que dicha expresión difiere si se está operando en bombeo o en turbinado, tal y como se indica a continuación.

Durante la etapa en la cual se está consumiendo energía, durante el bombeo de agua, la altura neta no depende del tiempo, por lo que la potencia consumida tampoco, simplificando el cálculo.

$$E_b(t) = \int_0^T P_b(t) \cdot dt = P_b \int_0^T dt = P_b \cdot (t)_0^T = \frac{1}{\eta_b} \cdot \rho \cdot g \cdot H_{n,b} \cdot Q_b \cdot (t)_0^T$$

En el periodo de generación de energía, es decir, cuando funciona como turbina el conjunto turbina-bomba, la altura neta si depende del tiempo, por lo que tanto la potencia y, en consecuencia, la energía generada si varía en función del tiempo de turbinado transcurrido.

$$V_t(t) = V_{m\acute{a}x} - Q_t \cdot t$$

$$H_{n,t}(t) = H_{n,m\acute{a}x} - \frac{V_t(t)}{S} = H_{m\acute{a}x} - \frac{1}{S}(V_{m\acute{a}x} - Q_t \cdot t)$$

Siendo  $H_{n,m\acute{a}x}$  la altura neta máxima cuando el nivel del embalse superior se encuentra en su máximo.

$$E_t(t) = \int_0^T P_t(t) \cdot dt = \int_0^T \eta_t \cdot \rho \cdot g \cdot H_{n,t}(t) \cdot Q_t \cdot dt = \eta_t \cdot \rho \cdot g \cdot Q_t \int_0^T H_{n,t}(t) \cdot dt$$

$$E_t(t) = \eta_t \cdot \rho \cdot g \cdot Q_t \int_0^T \left( H_{m\acute{a}x} - \frac{1}{S}(V_{m\acute{a}x} - Q_t \cdot t) \right) \cdot dt$$

$$E_t(t) = \eta_t \cdot \rho \cdot g \cdot Q_t \cdot \left( H_{m\acute{a}x} \cdot t - \frac{1}{S}(V_{m\acute{a}x} \cdot t - Q_t \cdot \frac{t^2}{2}) \right)_0^T$$

Cabe indicar que el rendimiento global de la central es igual en ambos casos, siendo este calculado mediante el producto de los diferentes rendimientos de los distintos elementos constituyentes de la central:

$$\eta_b = \eta_t = \eta_{turbina-bomba} \cdot \eta_{motor-alternador} \cdot \eta_{transformador} = 0.89 \cdot 0.93 \cdot 0.9973$$

$$\eta_b = \eta_t = 0.8255 \rightarrow 82.55 \%$$

De esta forma, para los valores de tiempo de bombeo y de turbinado, los correspondientes valores de energía total diaria, consumida o generada, resultan los siguientes.

$$E_b(t = 7h) = \frac{1}{\eta_b} \cdot \rho \cdot g \cdot H_{n,b} \cdot Q_b \cdot (t)_0^7 = \frac{1}{0.8255} \cdot 1000 \cdot 9.81 \cdot 267.615 \cdot 79.36 \cdot 7$$

$$E_b(t = 7h) = 1766886195 \text{ Wh} = \mathbf{1766.89 \text{ MWh}}$$

$$E_t(t = 8h = 28800s) = \eta_t \cdot \rho \cdot g \cdot Q_t \cdot \left( H_{m\acute{a}x} \cdot t - \frac{1}{S} (V_{m\acute{a}x} \cdot t - Q_t \cdot \frac{t^2}{2}) \right)_0^{28800}$$

$$E_t = 0.8255 \cdot 1000 \cdot 9.81 \cdot 69.44 \cdot \left( 252.566 \cdot 28800 - \frac{1}{99100} \left( 2 \cdot 10^6 \cdot 28800 - 69.44 \cdot \frac{28800^2}{2} \right) \right)$$

$$E_t(t = 8h = 28800s) = 392704 \cdot 10^{12} \text{ Ws} = 3927044 \text{ MWs} = \mathbf{1090.85 \text{ MWh}}$$

## 20.1. Conclusiones

Como se puede apreciar, la energía necesaria para bombear el agua desde el embalse inferior al superior resulta superior a la energía generada en las de consumo pico, resultado que era de esperar dadas las potencias hidráulicas obtenidas en apartados anteriores, las cuales siguen la misma tendencia. Este suceso se enmarca dentro de la idea de que las centrales de acumulación por bombeo ven aumentada su efectividad si se sitúan cerca de central de generación base.

## 21. Conexión de la instalación

Conocidos todos los elementos que conforman la central hasta el alcance establecido para el estudio, se pasa ahora al dimensionado de las conexiones entre los mismos.

### 21.1. Descripción de la instalación

La instalación a definir va a ser, por un lado, el enlace desde la máquina asíncrona reversible doblemente alimentada hasta el transformador, y por el otro, el enlace desde este último a la red, hasta el apoyo de la línea de AT donde se realizaría la conexión.

La disposición en planta de los componentes diseñados de la central se ve en el plano 8.

### 21.2. Dimensionado de los conductores.

A la hora de obtener las secciones de los conductores de la instalación, se emplean dos criterios de cálculo: mediante la máxima intensidad admisible y por caída de tensión.

Todos los cálculos se van a hacer para conductores de corriente alterna, la única presente en la instalación, empleándose los datos y parámetros característicos de cada tipología de conductores recogidos en las tablas del catálogo de Prysmian.

Así, el procedimiento de cálculo es el siguiente:

1. Obtención de la intensidad de corriente que circula por el conductor, siguiendo la siguiente expresión para corriente alterna trifásica:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot V \cdot \cos\varphi}$$

Siendo: - I: Intensidad circulante (A)

- P: Potencia de la instalación (W)

- V: Tensión de la instalación (V)

-  $\cos\varphi$ : Factor de potencia

2. Mediante las tablas, y según la instalación y disposición de los conductores, se selecciona una sección de conductores comercial con su respectiva intensidad máxima admisible, determinándose además el número de conductores por fase.
3. Dada la sección, se hace la comprobación de la caída de tensión para cada tramo de la instalación, de tal modo que no se exceda del 5 % del voltaje total.

$$\Delta U = I \cdot L \cdot (R \cdot \cos\varphi + X \cdot \sin\varphi)$$

Siendo: -  $\Delta U$ : Caída de tensión en el tramo en cuestión (V)

- I: Intensidad circulante (A)

- L: Longitud del conductor del tramo (m)

- R: Resistencia del conductor ( $\Omega/\text{km}$ )
- X: Reactancia del conductor ( $\Omega/\text{km}$ )
- $\cos\varphi$ : Factor de potencia

Descrito el procedimiento a seguir, se indican ahora los resultados obtenidos para los dos tramos en los siguientes apartados.

#### 21.2.1. Tramo I: desde la máquina asíncrona hasta el transformador

Para el tramo a dimensionar, de la máquina de inducción al transformador, más bien hasta la entrada de la celda de conexión y protección posteriormente indicada, los conductores unipolares discurren enterrados bajo tubo, agrupados 3 conductores por tubo.

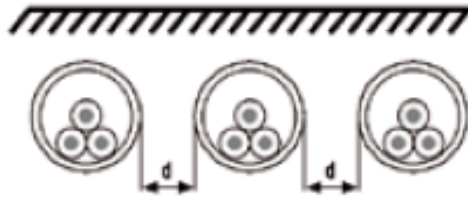


Imagen 44. Disposición de los conductores del tramo I

Dada la elevada potencia del motor-generator de cada grupo, igual para todos, la intensidad va a resultar elevada, tal y como se obtienen a continuación.

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot V \cdot \cos\varphi} = \frac{65000000}{\sqrt{3} \cdot 13800 \cdot 0.87} = 3125.751 \text{ A}$$

Puesto que dentro del catálogo de conductores de MT de cobre del fabricante escogido, no existe ninguno con una intensidad máxima admisible de tal calibre, es necesario repartir esa intensidad en varios conductores por fase.

Para ello, se determina en primer lugar cual será el número mínimo de ternos de 3 conductores necesario por fase, para así hallar la intensidad circulante en cada uno de ellos. Así, el número de ternos se obtiene dividiendo la intensidad total entre la intensidad de la máxima sección existente.

$$N^{\circ} \text{ Ternos mínimo} = \frac{I}{I_{\text{sección máxima}}} = \frac{3125.75}{730} = 4.2818$$

Se coge un total de 5 ternos de 730 mm<sup>2</sup> de sección, por lo que la intensidad que circula será:

$$\frac{I}{\text{cond}} = \frac{I}{N^{\circ} \text{ Ternos}} = \frac{3125.75}{5} = 625.15 \text{ A}$$

Con la sección determinada se obtiene la intensidad máxima admisible, 730 A, y se comprueba que cumple con el requerimiento de la caída de tensión máxima por tramo.

La intensidad máxima admisible, aportadas por las tablas del catálogo, es propia de unas condiciones características estándar, por lo que debe ser corregida para las condiciones que se tienen. Para ello, se deben aplicar una serie de factores correctores sobre la intensidad máxima admisible base:

$$I'_{m\acute{a}x} = I_{m\acute{a}x} \cdot \prod K_i = I_{m\acute{a}x} \cdot K_T \cdot K_R \cdot K_A \cdot K_P$$

Donde: -  $I'_{m\acute{a}x}$ : Intensidad máxima admisible corregida (A).

- $I_{m\acute{a}x}$ : Intensidad máxima admisible teórica (A).
- $K_T$ : Factor corrector debido a la temperatura.
- $K_R$ : Factor corrector debido a la resistividad del terreno.
- $K_A$ : Factor corrector debido al número de contactos.
- $K_P$ : Factor corrector debido a la profundidad de los conductores.

Con las condiciones de la ubicación de la central hidroeléctrica a implementar, los factores de corrección son los siguientes:

Factores de corrección I	
$K_T$ ( $T_{amb}=20\text{ }^{\circ}\text{C}$ )	1,03
$K_R$ (resistividad del terreno 1 K·m/W)	1,10
$K_A$ (5 ternos en contacto separadas 0.3 m)	0,71
$K_P$ (profundidad de 0.5m)	1,08

Tabla 12. Factores de corrección Tramo I

Por lo que la intensidad máxima admisible corregida queda:

$$I'_{m\acute{a}x} = 730 \cdot 1.03 \cdot 1.1 \cdot 0.71 \cdot 1.08 = 634.2126 \text{ A} > 625.15 \text{ A/conductor}$$

Puesto que la corriente corregida es superior a la intensidad necesaria circulante por cada conductor, la sección resulta óptima.

De esta forma, los resultados para este primer tramo son:

	P(kW)	fdp	U(V)	I(A)	I(A)/cond	S(mm <sup>2</sup> )	Imáx(A)	I'máx(A)
<b>G1</b>	65000	0,87	13800	3125,751	625,1502	630	730	634,213
<b>G2</b>	65000	0,87	13800	3125,751	625,1502	630	730	634,213
<b>G3</b>	65000	0,87	13800	3125,751	625,1502	630	730	634,213
<b>G4</b>	65000	0,87	13800	3125,751	625,1502	630	730	634,213

Tabla 13. Secciones según intensidad máxima admisible (Tramo I)

	I'máx(A)	R(Ω/km)	X(Ω/km)	L(m)	ΔU (V)	%V	%V acum
<b>G1</b>	634,213	0,085	0,091	31	2,689	0,019	0,019
<b>G2</b>	634,213	0,085	0,091	39	3,383	0,025	0,044
<b>G3</b>	634,213	0,085	0,091	46	3,990	0,029	0,073
<b>G4</b>	634,213	0,085	0,091	55	4,771	0,035	0,107

Tabla 14. Secciones según caída de tensión (Tramo I)



Se puede comprobar que se cumple el criterio de la caída de tensión, siendo inferior al 5 % establecido por la normativa. Por lo tanto se puede concluir que el tramo viene definido por las siguientes características por grupo:

**3x(5x630 mm<sup>2</sup>) Cu (aislamiento HEPR (105°C)) unipolares EPROTENAX COMPACT sin armadura agrupados bajo tubo enterrado.**

#### 21.2.2. Tramo II: desde el transformador hasta la torre de la línea

En este segundo, de la celda de conexión del lado de 66 kV del transformador a las protecciones de la torre, sin dimensionar, los conductores unipolares discurren de igual manera que en el tramo I.

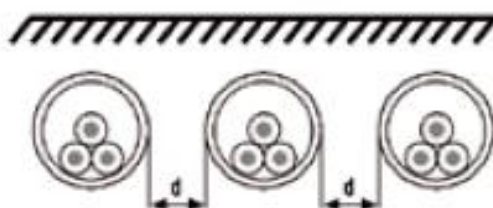


Imagen 45. Disposición de los conductores del tramo II

Puesto que trabajan dos transformadores en paralelo, con dos grupos conectados a cada uno, se divide este enlace en dos partes de potencia igual a la suma de las potencias de dos grupos. Así la intensidad de corriente que va a circular resulta la siguiente:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot V \cdot \cos\varphi} = \frac{65000000 \cdot 2}{\sqrt{3} \cdot 66000 \cdot 0.87} = 1307.132 \text{ A}$$

Dado que la intensidad resulta superior a la mayor ofrecida por el conductor de sección mayor del catálogo empleado, de 730 A para 630 mm<sup>2</sup>, se divide la intensidad en diferentes ternos.

$$N^{\circ} \text{ Ternos mínimo} = \frac{I}{I_{\text{sección máxima}}} = \frac{1307.132}{730} = 1.791$$

Se coge un total de 2 ternos de 730 mm<sup>2</sup> de sección, por lo que la intensidad que circula será:

$$\frac{I}{\text{cond}} = \frac{I}{N^{\circ} \text{ Ternos}} = \frac{1307.132}{2} = 653.566 \text{ A}$$

La intensidad escogida como máxima admisible de 730 A debe ser corregida según las características del terreno y de la instalación, las cuales se muestran en la siguiente tabla.

Factores de corrección II	
K <sub>T</sub> (T <sub>amb</sub> =20 °C)	1,03
K <sub>R</sub> (resistividad del terreno 1 K·m/W)	1,10
K <sub>A</sub> (2 ternos en contacto directo)	0,80
K <sub>P</sub> (profundidad de 0,5m)	1,08

Tabla 15. Factores de corrección Tramo II

Así la intensidad máxima admisible real es:

$$I'_{m\acute{a}x} = 730 \cdot 1.03 \cdot 1.1 \cdot 0.8 \cdot 1.08 = 714.606 \text{ A} > 653.566 \text{ A/conductor}$$

Los cálculos para el segundo tramo son los siguientes.

	P(kW)	fdp	U(V)	I(A)	I(A)/cond	S(mm <sup>2</sup> )	Imáx(A)	I'máx(A)
<b>C1</b>	130000	0,87	66000	1307,132	653,566	630	730	714,606
<b>C2</b>	130000	0,87	66000	1307,132	653,566	630	730	714,606

Tabla 16. Secciones según intensidad máxima admisible (Tramo II)

	I'máx(A)	R(Ω/km)	X(Ω/km)	L(m)	ΔU (V)	%V	%V acum
<b>C1</b>	714,606	0,085	0,091	20	1,735	0,003	0,003
<b>C2</b>	714,606	0,085	0,091	23	1,995	0,003	0,005

Tabla 17. Secciones según caída de tensión (Tramo II)

Los conductores determinados cumplen con el criterio de caída de tensión inferior al 5% establecido.

De esta forma, el conductor elegido en la instalación de este tramo, para cada conexión celda-poste, corresponde con:

**3x(2x630 mm<sup>2</sup>) Cu (aislamiento HEPR (105°C)) unipolares EPROTENAX COMPACT sin armadura agrupados bajo tubo enterrado.**

#### 21.2.3. Tramo III: desde el lado de 13.8 kV hasta el transformador de servicios auxiliares

Para la conexión del transformador de servicios auxiliares de 13.8/0.4 kV no se dimensiona el conductor, pues no se hace una previsión de carga de la instalación en baja tensión y demás servicios auxiliares, ya que no entra dentro del alcance del documento.

No obstante, si se refleja cómo sería la conexión a realizar en el esquema unifilar planteado de la central, de modo simplificado, sin las protecciones pertinentes.

### 21.3. Protecciones

Con el fin de proteger la instalación, resulta imprescindible la introducción de elementos de protección frente a posibles cortocircuitos u otras perturbaciones que pudieran ocurrir. Para ello se va a optar por la instalación de celdas de hasta 24 kV, para el tramo de tensión de 13.8 kV, las cuales constan de todos los elementos de corte y protección necesarios.

Por otro lado, en el enlace del lado de mayor tensión del transformador principal y el poste de la línea, se instala como sistema de protección una celda GIS de 72.5 kV del fabricante Siemens, tal y como se indica en el capítulo “Conexión a la red” de este documento.

#### 21.3.1. Celda 24 kV

La elección de una celda de 24 kV como conexión de un nivel de tensión normalizada, notablemente superior a la tensión nominal de esta parte de la instalación, pues le correspondería un nivel de 17.5 kV según el reglamento de alta tensión, se debe a que la corriente circulante tiene un valor muy elevado, de 3125.751 A, y sólo para este nivel de tensión es posible encontrar una celda de protección compacta.

Así, la celda seleccionada corresponde con el modelo “24kV ET1 Removable AC metal-enclosed switchgear (With VE24 Encapsulated pole VCB)” del fabricante EATON.

No obstante, dado que existe un total de cuatro grupos de carga, también es necesaria la instalación de cuatro celdas de este modelo, con el fin de proteger cada uno de los grupos por separado.

A continuación se indican sus características técnicas y constructivas, con la apartamentas con la que consta la celda escogida.

#### 21.3.1.1. Datos Técnicos

En la siguiente tabla se recogen los datos técnicos específicos de la celda instalada.

24 kV ET1 Removable AC metal-enclosed switchgear	
Tensión nominal	24 kV
Frecuencia nominal	50 Hz
Tensión nominal de resistencia de frecuencia de potencia (1min)	65 kV
Tensión nominal admisible por impulso de rayo (1,2/50µs)	125 kV
Tensión de frecuencia de potencia del circuito de control auxiliar	2 kV
Corriente nominal	3150 A
Corriente de cortocircuito	31.5kA
Corriente a resistencia pico	80 kA
Corriente a resistencia de corta duración (4s)	31.5kA
Tensión nominal de alimentación	110/220 V DC/AC
Vida útil esperada	> 50 años
Protección	IP 4X (IP2X cuando el interruptor está abierto)
Dimensiones	1000x2200x2400 mm
Peso	840-1440 kg

Tabla 18. Características técnicas de la celda 24 kV ET1

Interruptor VE24 Encapsulated pole VCB	
Tensión nominal	24 kV
Frecuencia nominal	50 Hz
Tensión nominal de resistencia de frecuencia de potencia (1min)	65 kV
Tensión nominal admisible por impulso de rayo (1,2/50µs)	125 kV
Tensión de frecuencia de potencia del circuito de control auxiliar	2 kV
Corriente nominal	3150 A
Corriente de cortocircuito	31.5kA
Corriente a resistencia pico	80 kA
Corriente a resistencia de corta duración (4s)	31.5kA
Secuencia de operación	0-0.3s-CO-180s-CO
Resistencia del circuito de conducción por fase	≤ 50 µΩ (1250 A)

	$\leq 25 \mu\Omega$ (>2500 A)
<b>Temperatura de funcionamiento</b>	-15 a 40 °C
<b>Velocidad media de cierre</b>	0.8-1.2 m/s
<b>Velocidad media de apertura</b>	1.1-1.7 m/s
<b>Tiempo de cierre</b>	35-70 ms
<b>Tiempo de apertura</b>	20-50 ms
<b>Tiempo de rebote al cierre del contacto</b>	$\leq 2$ ms
<b>No-periodicidad al cierre y apertura trifásicos</b>	$\leq 2$ ms
<b>Distancia entre el centro fase-fase</b>	275 mm
<b>Grosor permisible de los contactos móviles y fijos</b>	3 mm

Tabla 19. Características técnicas del interruptor VE24 VCB

Como se puede comprobar, la celda seleccionada tiene una intensidad superior a la requerida por el sistema, por lo que es válida.

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot V \cdot \cos\varphi} = \frac{65000000}{\sqrt{3} \cdot 13800 \cdot 0.87} = 3125.751 \text{ A} < 3150 \text{ A}$$

#### 21.3.1.2. Resumen de la estructura

El equipo 24kV ET1 está compuesto por cubículo y partes desmontables (también llamado carro). El cubículo está separado en varios compartimentos funcionales por una chapa de metal, incluyendo el compartimento de la barra colectora, el compartimento del interruptor, el compartimento del cable y el compartimento de BT.

Las piezas desmontables del equipo de conmutación se pueden equipar con el carro VCB, el carro del transformador de tensión, el carro de pararrayos y el carro de fusibles.



Imagen 46. Celda 24kV ET1

En el plano 9 se indican las dimensiones de la celda 24 kV ET1.

#### 21.3.1.3. Dispositivo para liberar presión

Los dispositivos de alivio de presión se instalan sobre el compartimiento de la carretilla, el compartimiento de la barra colectora y el compartimiento del cable. El anillo de sellado especial en la puerta sella la puerta del panel.

En caso de fallas en el interior de los compartimentos que resultan en un arco, la presión sube dentro del equipo de distribución y el alivio de presión equipado en la parte superior se abrirá automáticamente, para liberar la presión y el gas a alta temperatura. De esta manera, puede garantizar la seguridad del personal operativo.

#### 21.3.1.4. Enclavamiento secundario de la posición del enchufe y del carro

La conexión secundaria del equipo de distribución y los carros se realiza a través de la coordinación del enchufe secundario. El enchufe secundario está conectado a los carros a través de un fuelle de nylon. El enchufe se encuentra en el lado superior derecho del compartimiento del carro del dispositivo de distribución. Sólo cuando el carro está en la posición de prueba, el enchufe secundario puede enchufarse o retirarse. Cuando el carro está en la posición de funcionamiento, el tapón está bloqueado.

#### 21.3.1.5. Dispositivo de indicación eléctrica

El equipo de distribución puede instalar un dispositivo de indicación eléctrica en el circuito primario. El dispositivo incluye sensores de alta tensión y un indicador, y puede indicar el estado eléctrico del circuito de alto voltaje.

También puede cooperar con la cerradura electromagnética para llevar a cabo el bloqueo obligatorio en la manija de operación, la puerta del cubículo y los cubículos adyacentes. Por lo tanto, puede evitar que se retire el carro de aislamiento con cargas, evitar que el interruptor de puesta a tierra se cierre con energía y evitar la entrada del compartimiento energizado. De esta manera, puede aumentar el rendimiento de prevención de los productos equipados.

#### 21.3.1.6. Prevención de la condensación.

Con el fin de evitar la condensación en ambientes de alta humedad o con cambios drásticos de temperatura, el calentador eléctrico se instala por separado en el compartimiento del interruptor y en el compartimiento del cable, para evitar accidentes dieléctricos en las condiciones anteriores.

#### 21.3.1.7. Dispositivo de puesta a tierra

El compartimiento del cable instala además un bus de cobre de puesta a tierra de 60x5 mm<sup>2</sup> que pasa por cubículos adyacentes y con una buena conexión a los cubículos. El bus de cobre se utiliza para componentes de puesta a tierra directa. Dado que toda la celda está unida por placas de acero recubiertas con zinc y aluminio, la celda está en buen estado de conexión a tierra, lo que garantiza la seguridad del personal operativo.

#### 21.3.1.8. Dispositivos de bloqueo para evitar mal funcionamiento

El equipo de conmutación ET1 de 24 kV tiene una serie de dispositivos de bloqueo para prevenir fundamentalmente situaciones peligrosas y mal funcionamiento que puede provocar graves consecuencias y, por lo tanto, garantizará de forma efectiva la seguridad del personal operativo y del propio equipo de conmutación. El enclavamiento detallado incluye:

- Cuando el interruptor de circuito y el interruptor de puesta a tierra están en la posición de apertura, el carro puede moverse desde la posición de PRUEBA / aislamiento a la posición de SERVICIO. Si el interruptor de circuito está en condición de cierre y está en rack, el carro se disparará automáticamente cuando se mueva desde la posición de PRUEBA / aislamiento a la posición de SERVICIO. El movimiento inverso tiene el mismo resultado (bloqueo mecánico)
- Sólo cuando el carro está completamente ocupado en la posición de PRUEBA o SERVICIO, el interruptor automático puede cerrarse (bloqueo mecánico)
- Si el carro está en la posición de PRUEBA o SERVICIO sin voltaje de control, el interruptor automático no puede cerrarse. Puede sólo ser abierto manualmente(bloqueo mecánico)
- Si el carro está en la posición de SERVICIO, el tapón de control está bloqueado y no se puede sacar.
- Cuando el interruptor de puesta a tierra está cerrado, el carro no puede moverse desde la posición de PRUEBA / aislamiento a la posición de SERVICIO; cuando el carro está en la posición de SERVICIO, el interruptor de puesta a tierra no puede estar cerrado (mecánico entrelazar)

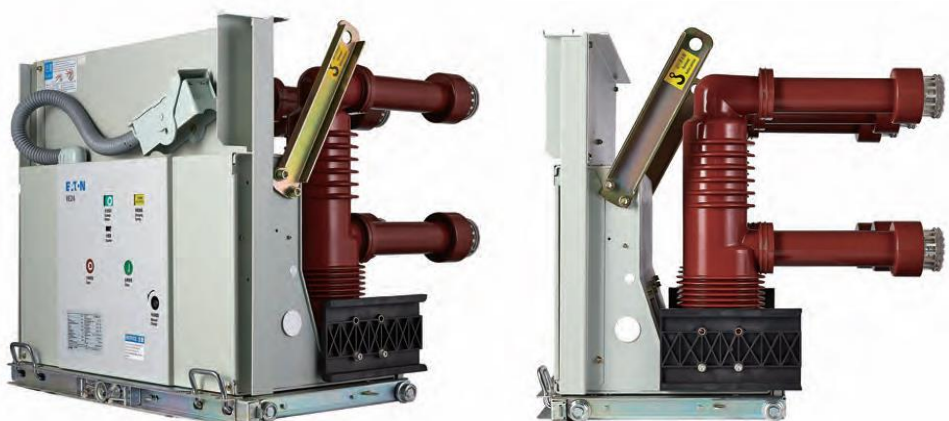


Imagen 47. Interruptor VE24 VCB

Las dimensiones del conector o interruptor de vacío VE24 VCB son las siguientes.

Cubicle width	Rated current	Rated short-circuit breaking current (kA)	P	A	B	C	D	F	G	J	K	N	R	S	T
800	630	25	210	638	652	640	650	685	ø35	325	745	737	655	277	40
800	630	31.5	210	638	652	640	650	705	ø35	345	745	757	655	277	40
800	1250	25	210	638	652	640	650	685	ø49	325	745	737	655	277	40
800	1250	31.5	210	638	652	640	650	705	ø49	345	745	757	655	277	40
1000	630	25	275	838	852	840	850	685	ø35	325	745	737	655	377	40
1000	630	31.5	275	838	852	840	850	705	ø35	345	745	757	655	377	40
1000	1250	25	275	838	852	840	850	685	ø49	325	745	737	655	377	40
1000	1250	31.5	275	838	852	840	850	705	ø49	345	745	757	655	377	40
1000	1600-2000	31.5	275	838	852	840	850	705	ø79	345	735	757	685	377	0
1000	2500-3150	31.5	275	838	852	840	850	781	ø109	345	735	825	685	377	0

Imagen 48. Parámetros de las dimensiones del interruptor V24 VCB

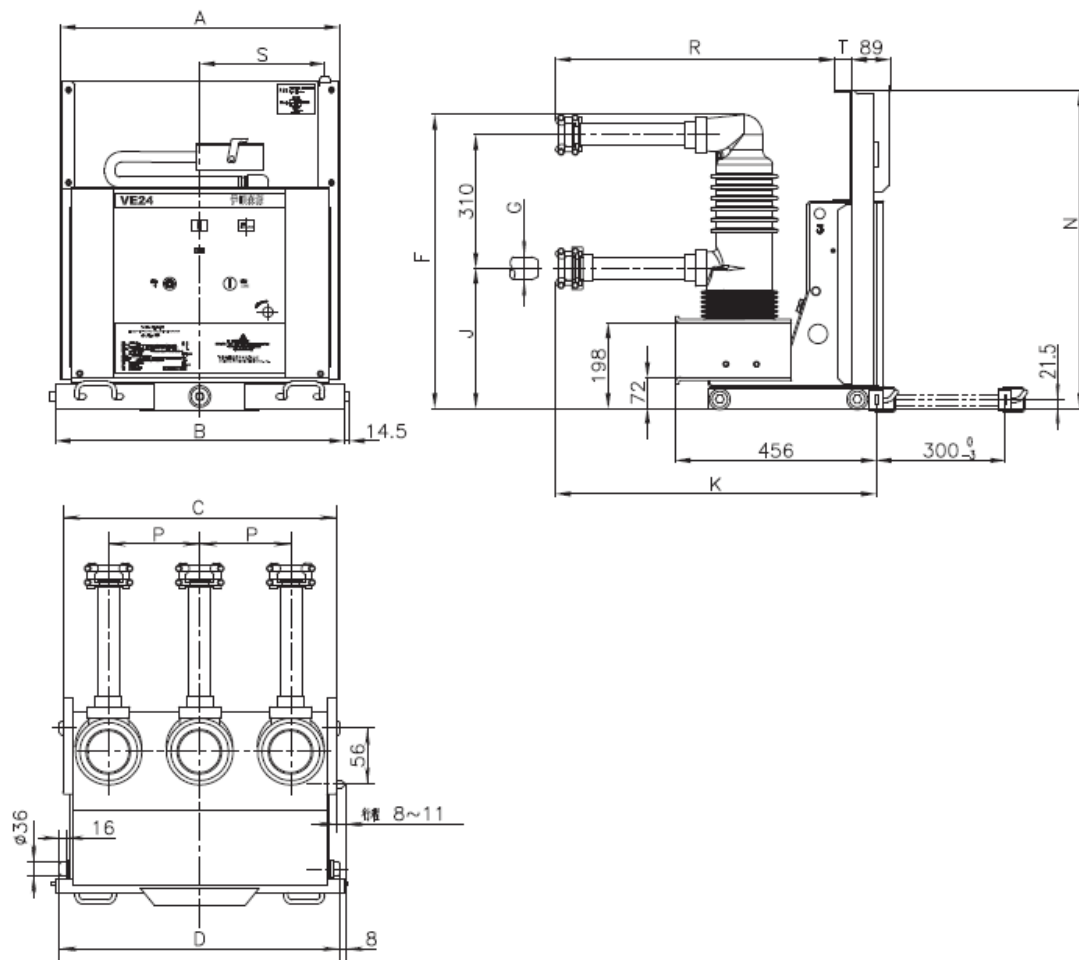


Imagen 49. Dimensiones del interruptor VE24 VCB



## 22. Conexión a la red

La finalidad última de cualquier central de generación de energía eléctrica es la de verter la energía generada a la red eléctrica para ser transportada desde su origen hasta los puntos de consumo. En este caso, el flujo de potencia con la red sigue un doble sentido pues, según el periodo del día, la central verterá la energía producida durante el turbinado en horas punta, o consumirá energía de la red en horas valle de demanda energética.

Así, el lado de alta tensión de los transformadores de 13.8/66 kV irá conectado a una red de transporte de la red eléctrica. Aunque no es incumbencia de este trabajo, ya que en el alcance del mismo no se refleja su diseño, la línea de 66 kV de tensión, deberá ser una línea de alta tensión aérea que se conectará a una subestación transformadora cercana, pudiendo ser la ubicada en Mansilla o la de Panzares, mostradas en la imagen inferior, en la que se refleja en sistema eléctrico ibérico en la comunidad autónoma de La Rioja.



Imagen 50. Sistema eléctrico en La Rioja

Esta conexión a la red se realiza al nivel de tensión de 66 kV debido a diferentes factores tales como:

- Si las corrientes son elevadas, con un valor por encima de los 1000 A, como lo son en este caso, la inyección de estas corrientes a la red pueden causar problemas en la red.
- Con tensiones elevadas ocurre algo similar que con las intensidades de gran amperitraje. Un cambio o diferencia grande de tensión en la red fruto del cambio de régimen de la central, por ejemplo, puede producir la ruptura de alguna de las cargas del sistema, y más en una zona poco mallada como en la que se hace el diseño.



- Al ser la línea de transporte de gran longitud, trabajándose con unas tensiones elevadas disminuye la corriente circulante por la línea, de modo que las pérdidas también se ven reducidas.

A pesar de que no se diseña la línea, si se define la conexión desde los bornes del lado de mayor tensión del transformador, el de 66 kV, al poste de inicio de la supuesta líneas de transporte aérea.

### 22.1. Celda GIS 72.5 kV

En primer lugar, dada la zona, la empresa principal encargada de la distribución de energía es Iberdrola, por lo que se recurre a su normativa a la hora de seleccionar la celda a instalar.

Así, siguiendo la normativa, para una tensión nominal de red de 66 kV, la tensión más elevada para el material corresponde con 72.5 kV, por lo que se elige una celda de ese nivel de tensión para la conexión, optándose entonces por la instalación de celdas GIS del fabricante Siemens junto a cada transformador.

El modelo asignado es “Gas-insulated switchgear type serie 8DN8” de Siemens, el cual tiene las siguientes características eléctricas y constructivas. Dado que trabajan un total de dos transformadores en paralelo se instalan un total de dos celdas de este modelo.

#### 22.1.1. Datos técnicos

En la siguiente tabla se recogen los principales datos técnicos de la celda GIS:

GIS tipo 8DN8				
<b>Tensión nominal</b>		72.5 kV	145 kV	170 kV
<b>Frecuencia nominal</b>		50/60 Hz		
<b>Tensión nominal de resistencia de frecuencia de potencia (1min)</b>		140 kV	275 kV	325 kV
<b>Tensión nominal admisible por impulso de rayo (1,2/50µs)</b>		325 kV	650 kV	750 kV
<b>Corriente nominal</b>	<b>busbar</b>	2500 A	3150 A	4000 kA
	<b>feeder</b>	2500 A	3150 A	4000 kA
<b>Corriente de cortocircuito</b>		31.5 kA	40 kA	63kA
<b>Corriente a resistencia pico</b>		85 kA	108 kA	170 kA
<b>Corriente a resistencia de corta duración</b>		31.5 kA	40 kA	63kA
<b>Tasa de fugas por año y compartimento de gas.</b>		≤ 0.5% routine test		
		≤ 0.1% type test		
<b>Ancho de la bahía</b>		650/800/1000/1200 mm		
		26/32/39/47 pulgadas		
<b>Mecanismo de funcionamiento del interruptor</b>		stored-energy spring		
<b>Secuencia de operación nominal</b>		O-0.3 s-CO-3 min-CO		
		CO-15 s-CO		
<b>Tensión nominal de alimentación</b>		48–250 V DC		
<b>Vida útil esperada</b>		> 50 años		
<b>Rango de temperatura ambiente</b>		–30 °C to +40 °C		
<b>Normas</b>		IEC/IEEE/GOST		

Tabla 20. Datos técnicos de la celda GIS 8DN8

La celda escogida debe garantizar la protección de la instalación, siendo la corriente que circula inferior a la máxima del interruptor de la celda.

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot V \cdot \cos\varphi} = \frac{4 \cdot 62932.7 \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 66000 \cdot 0.87} = 2496.87 \text{ A} < 2500 \text{ A}$$

### 22.1.2. Elementos constructivos

El modelo de la celda GIS elegida consta de una serie de elementos constructivos que hacen de estos elementos de enlace y protección unos aparatos de gran utilidad para conexiones de altos niveles de tensión y corriente.

De esta manera, a continuación se describen los diferentes elementos y sus funciones.



Imagen 51. Modelo y esquema unifilar celda GIS 8DN8

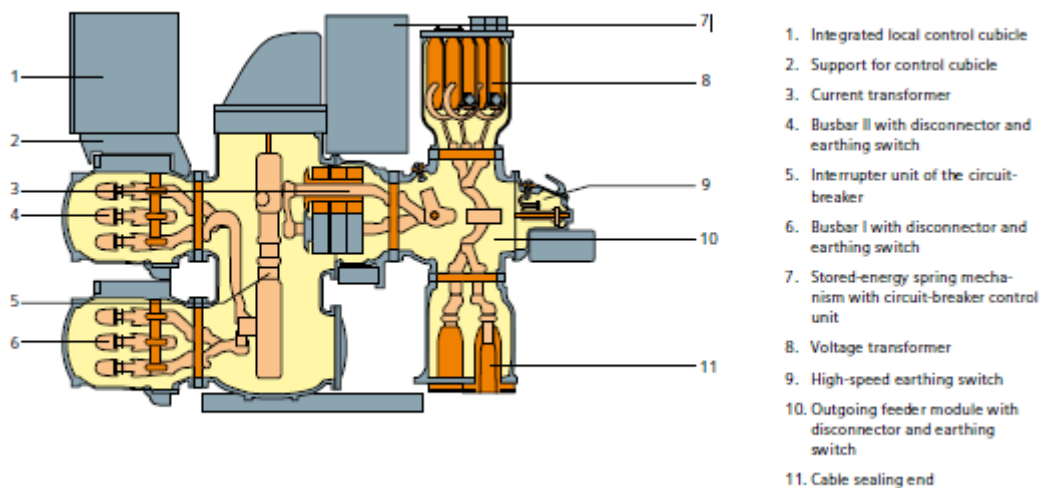


Imagen 52. Partes de la celda GIS 8DN8

#### 22.1.2.1. Módulo cortacircuitos

El elemento central de la celda GIS es el cortacircuitos encapsulado de tres polos, el cual recoge los dos siguientes componentes principales:

- Unidad de corte
- Mecanismo de operación

El diseño de la unidad de corte y del mecanismo de resorte de energía almacenada se fundamenta en diseños probados y, en la mayoría de los casos, idénticos, que a menudo se han utilizado para instalaciones de conmutadores de exteriores en todo el mundo.

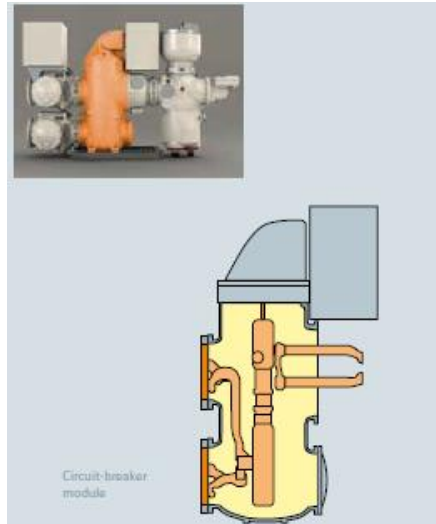


Imagen 53. Módulo cortacircuitos

#### 22.1.2.2. Mecanismo de operación

El mecanismo de resorte de energía almacenada proporciona la energía para abrir y cerrar el interruptor. Se instala en una carcasa compacta de aluminio libre de corrosión. El resorte de cierre y el resorte de apertura están dispuestos para garantizar una buena visibilidad dentro de la unidad de accionamiento. Toda la unidad de accionamiento está completamente aislada de los compartimientos de gas SF<sub>6</sub>. Asimismo, los rodamientos de rodillos y un mecanismo de resorte libre de mantenimiento aseguran décadas de operación confiable.

Se utilizan los principios de diseño comprobados de los interruptores automáticos de Siemens, como los pestillos aislados por vibración y el aislamiento del mecanismo de carga sin carga. El mecanismo de operación ofrece las siguientes ventajas:

- Posición de conmutación definida que se mantiene de manera segura incluso si falla la fuente de alimentación auxiliar
  - El disparo es posible independientemente del estado del resorte de cierre.
  - Alto número de operaciones mecánicas
  - Bajo número de piezas mecánicas
  - Diseño compacto
  - Elección de un solo polo o diseño de unidad común.
- La versión monopolar permite el recierre automático unipolar y el recierre automático (AR).

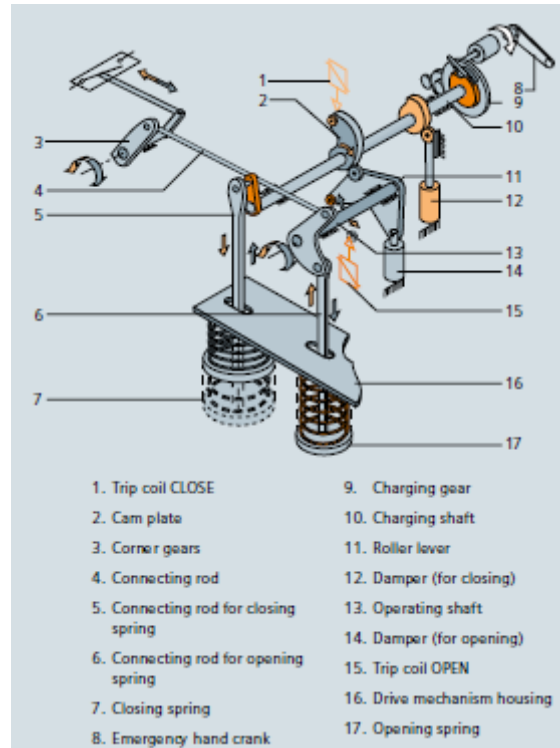


Imagen 54. Mecanismo de operación

#### 22.1.2.2.1. Unidad de corte

La unidad de corte utilizada en el interruptor automático para la extinción del arco funciona según el principio comprobado de autocompresión. Dado que esto requiere solo una mínima energía de operación, las tensiones mecánicas involucradas son bajas. La tensión tanto del interruptor como de la carcasa se reduce.

#### 22.1.2.2.2. Recorrido de la corriente

En el caso de un interruptor automático de autocompresión, la trayectoria de la corriente está formada por el soporte de contacto (1), la base (6) y el cilindro de contacto móvil (5). En la posición cerrada, la corriente de operación fluye a través del dedo de contacto (3) y el contacto de arco (4) que también está cerrado.

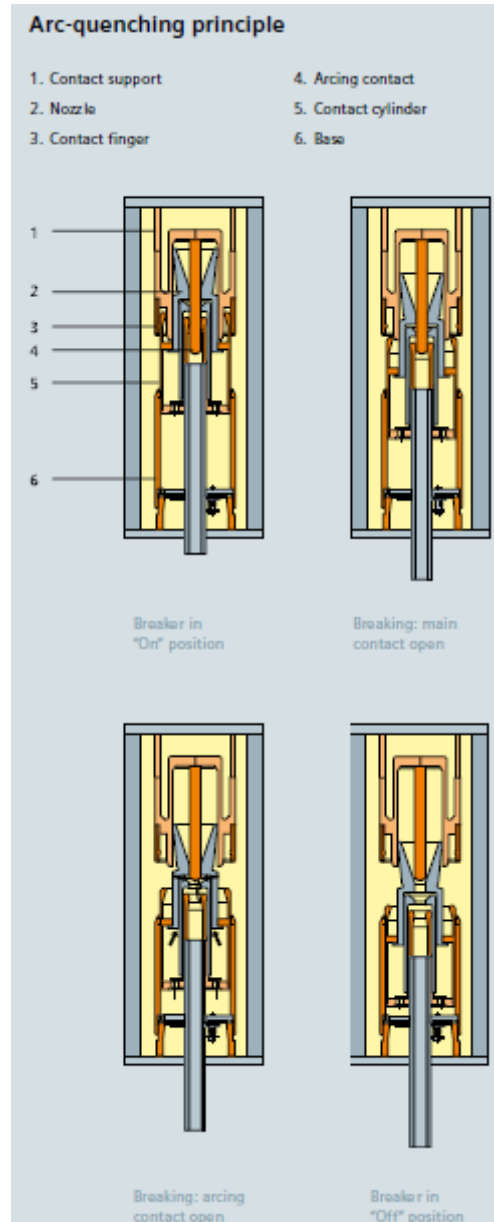


Imagen 55. Principio de extinción del arco eléctrico

#### 22.1.2.2.3. Operación de ruptura

Durante la operación de ruptura, el dedo de contacto (3) se abre primero y la corriente continua fluyendo a través del contacto de arco (4), que todavía está cerrado. Esto evita la erosión de los contactos principales. A medida que avanza la operación de ruptura, los contactos de arco (4) se abren y se forma un arco entre ellos.

Simultáneamente, el cilindro de contacto (5) se mueve hacia el volumen de compresión (6) y comprime el gas restante que apaga el arco. El gas comprimido de arco que fluye a través del cilindro de contacto (5) en la brecha de contacto y extingue el arco.

#### 22.1.2.2.4. Interrupción de corrientes de falla.

Si la corriente de cortocircuito es alta, el gas que apaga el arco en el contacto de arco se calienta considerablemente por la energía del arco. Esto conduce a un fuerte aumento adicional en la presión en el cilindro de contacto y acumula la energía necesaria para apagar el arco. En

consecuencia, esta energía no tiene que ser suministrada por el mecanismo operativo. A medida que avanza la operación de conmutación, el contacto de arco fijo libera el flujo de salida de la boquilla (2). El gas ahora sale del cilindro de contacto y atraviesa la boquilla, extinguiendo así el arco.

#### 22.1.2.3. Dispositivos de conmutación de tres posiciones

Las funciones de un interruptor de desconexión y un interruptor de puesta a tierra se combinan en un dispositivo de conmutación de tres posiciones.

El contacto móvil cierra la brecha o conecta el conductor de alto voltaje al contacto del interruptor de puesta a tierra. El enclavamiento mutuo integral de las dos funciones se logra como resultado de este diseño, eliminando así la necesidad de proporcionar el enclavamiento eléctrico correspondiente. Una conexión aislada al contacto de acoplamiento del interruptor de puesta a tierra se proporciona fuera del recinto para fines de prueba.

En la tercera posición neutral, ni el contacto del seccionador ni el contacto del interruptor de puesta a tierra están cerrados. Los tres polos de una bahía se acoplan mutuamente y los tres polos son operados a la vez por un motor. La fuerza se transmite a la caja a través de glándulas de eje giratorio herméticas. Los interruptores de alarma y los indicadores de encendido / apagado están bloqueados por fricción y están conectados directamente al eje de transmisión. Operación de emergencia manual es posible. El recinto se puede proporcionar con puertos de vista de tamaño generoso, a través de los cuales se puede ver la posición de conmutación de las tres fases.

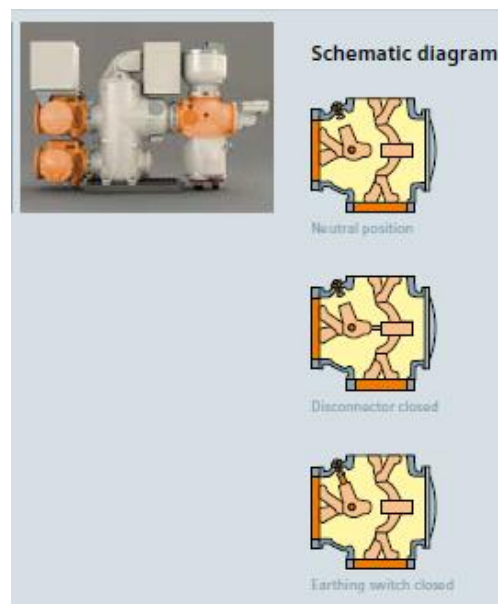


Imagen 56. Dispositivo de conmutación de tres posiciones

El dispositivo de conmutación de tres posiciones está contenido en varios módulos diferentes.

##### 22.1.2.3.1. Módulo de alimentación saliente

El módulo de alimentación saliente conecta la bahía básica con varios módulos de terminación (para terminación de cable, terminación de línea aérea y terminación de transformador). Este contiene un dispositivo de conmutación de tres posiciones, que combina

las funciones de un desconectador de alimentación saliente y un interruptor de puesta a tierra del lado de la bahía (tipo de trabajo en progreso).

La instalación de un interruptor de puesta a tierra de alta velocidad y de un transformador de tensión también es posible cuando sea necesario. El equipo de prueba de sitio de alto voltaje generalmente está conectado a este módulo.

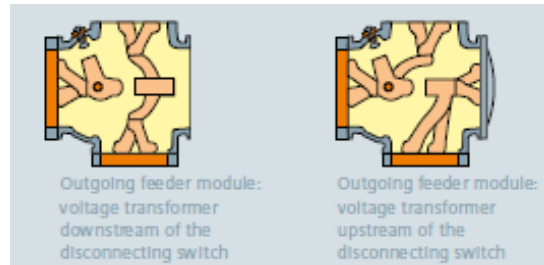


Imagen 57. Módulo de alimentación saliente

#### 22.1.2.3.2. Módulo de barras

Las conexiones entre las bahías se efectúan mediante barras colectoras. Las barras colectoras de cada bahía están encerradas. Los módulos de barras colindantes se acoplan mediante juntas de expansión.

El módulo contiene un dispositivo de conmutación de tres posiciones, que combina las funciones de un interruptor de desconexión de la barra colectora y de un interruptor de puesta a tierra del lado de la bahía (tipo de trabajo en progreso).

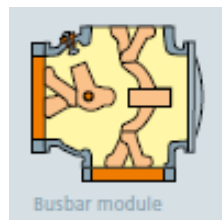


Imagen 58. Módulo de barras

#### 22.1.2.3.3. Seccionadores de buses

Los seccionadores de bus se utilizan para aislar las secciones de barras de una subestación. Se integran en la barra de bus de la misma manera que un módulo de barra de bus. El módulo contiene un dispositivo de conmutación de tres posiciones que combina las funciones de un seccionador de bus y un interruptor de puesta a tierra (tipo de trabajo en progreso).

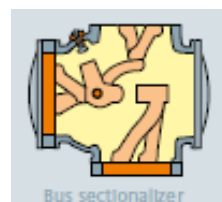


Imagen 59. Seleccionador de buses

#### 22.1.2.4. Puesta a tierra de alta velocidad interruptor / trabajo en progreso módulo de puesta a tierra

El módulo de puesta a tierra utilizado es el denominado interruptor de puesta a tierra "tipo pin". En este tipo de interruptor, el pasador de puesta a tierra en el potencial de tierra se empuja hacia el contacto de acoplamiento en forma de tulipán.

El interruptor de puesta a tierra de alta velocidad está equipado con un mecanismo accionado por resorte, cargado por un motor eléctrico.



Imagen 60. Puesta a tierra de alta velocidad

#### 22.1.2.5. Transformadores para instrumentación

Los transformadores de corriente y voltaje se utilizan para fines de medición, protección y monitoreo y se pueden integrar en cualquier punto dentro de la subestación. Las conexiones secundarias se sacan del gabinete a través de bujes herméticos y se ponen en contacto con los terminales. Se suministran en diversas variantes, desde transformadores de instrumentos convencionales de diferentes clases y estándares hasta sensores avanzados de corriente y voltaje.

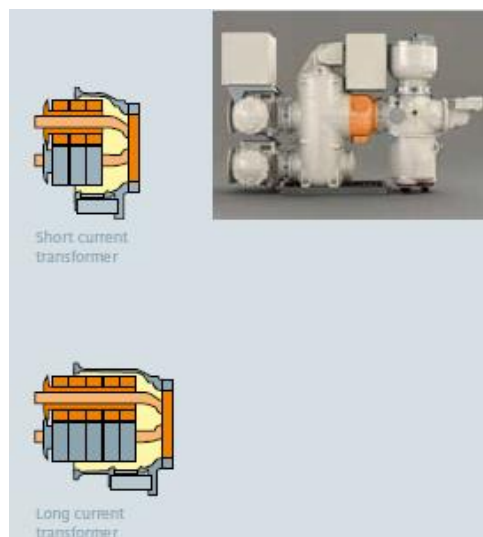


Imagen 61. Transformador de corriente

##### 22.1.2.5.1. Transformador de corriente

Como regla general, se utilizan transformadores de corriente de inducción convencionales que se adaptan individualmente a los diferentes requisitos de los sistemas de medición y protección. El conductor de alto voltaje forma el devanado primario. Los núcleos individuales con los devanados secundarios constituyen circuitos de medición independientes.



El cambio a una relación de transformación diferente es posible por medio de conexiones de pestaña del lado secundario. Preferiblemente, el transformador de corriente debe estar dispuesto en el compartimiento directamente aguas abajo del interruptor automático.

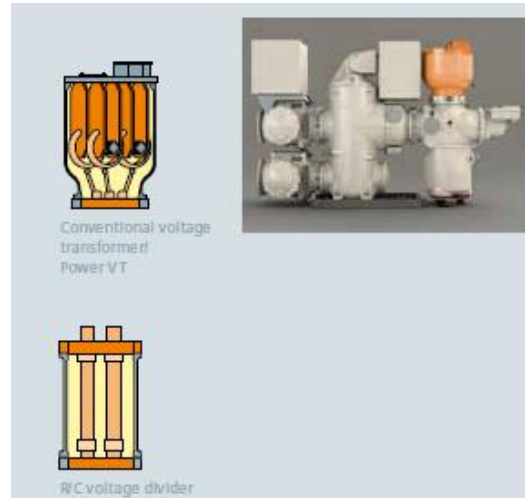


Imagen 62. Transformador de tensión

#### 22.1.2.5.2. Transformador de tensión / divisor de tensión

Se utilizan principalmente transformadores de voltaje de tipo de inducción convencionales, que se adaptan individualmente a los diferentes requisitos de los sistemas de medición y protección. Los transformadores de voltaje deben proporcionarse preferiblemente en la barra colectora y en el circuito de salida.

Los espacios de aislamiento opcionales en el terminal primario permiten que el transformador se encienda y apague en la prueba de alto voltaje.

Los transformadores de voltaje del diseño “Power VT” proporcionan una interfaz conveniente para realizar pruebas de alto voltaje sin esfuerzo, no solo durante la puesta en servicio sino también durante todo el ciclo de vida de un sistema GIS, por ejemplo, después de expansiones.

Los divisores de voltaje R / C están diseñados para adaptarse a los sistemas avanzados de medición y protección digital. Mapean el alto voltaje en forma lineal en un amplio rango de frecuencia y, por lo tanto, son adecuados, por ejemplo, para monitorear la calidad del voltaje, especialmente para redes en las que las tecnologías de semiconductores se utilizan cada vez más.

#### 22.1.2.6. Módulos de conexión

Los módulos de conexión unen los componentes del sistema dentro de una bahía. También se utilizan para penetraciones de tuberías y forman la conexión entre los componentes del equipo de distribución situados muy separados. También proporcionan un medio para conectar equipos como transformadores o líneas aéreas ubicadas a cierta distancia. Los módulos de conexión encapsulados monopolares y tripolares están disponibles según el circuito y la distribución espacial de la bahía.

#### 22.1.2.6.1. Módulos de extensión

Los módulos de extensión conectan los componentes del equipo de distribución que están muy alejados entre sí en línea recta.

#### 22.1.2.6.2. Módulos T

Los módulos T se utilizan como puntos de derivación o para conectar un pararrayos, un transformador de voltaje, un interruptor de puesta a tierra o un módulo de alimentación saliente. Su diseño básico es siempre el mismo en todas las versiones.

#### 22.1.2.6.3. Módulos angulares

Los módulos angulares se utilizan para dividir los conductores en conductores salientes. Están disponibles en diseños con ángulos de 30 °, 45 °, 60 ° y 90 °. Con el módulo de tres grados de 90° también es posible implementar diseños de sistemas de compensación y largos conductores salientes.

#### 22.1.2.6.4. Módulo de división, unipolar / tripolar

Los módulos de división se utilizan para conectar componentes de equipos de conmutación de tres polos a componentes de un solo polo. Como regla general, forman la conexión entre el módulo de alimentación saliente y varios módulos de terminación (por ejemplo, terminación de línea aérea, terminación de transformador).

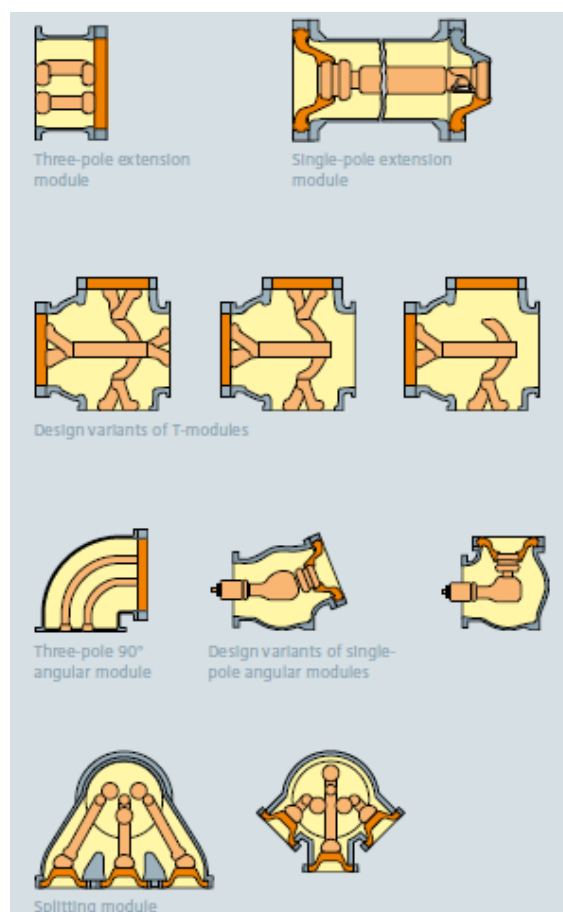


Imagen 63. Módulos de conexión

#### 22.1.2.7. Pararrayos

Si es necesario, los pararrayos encapsulados se pueden conectar directamente. Sirven para limitar las sobretensiones que puedan ocurrir. Su parte activa consiste en resistencias de óxido de metal con características de corriente / voltaje fuertemente no lineales. El pararrayos generalmente está unido por brida al dispositivo de distribución a través de un buje hermético. El alojamiento del pararrayos incorpora un orificio de inspección, a través del cual se puede acceder al conductor interno para fines de inspección. Hay conexiones para monitoreo de gas y pruebas de pararrayos en la parte inferior.

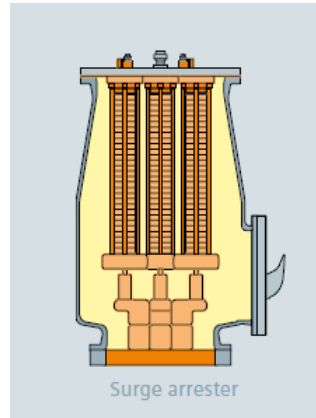


Imagen 64. Pararrayos

#### 22.1.2.8. Módulos terminales

Los módulos de terminación conectan las bahías de los equipos de conmutación con gas a los siguientes equipos:

- Línea sobre la cabeza
- Transformador o reactor
- Cable

De este modo, forman la transición entre el aislamiento de gas SF<sub>6</sub> dentro del recinto y otros medios aislantes.

##### 22.1.2.8.1. Terminación del cable

Este módulo tripolar vincula el dispositivo de conmutación aislado por gas con aislamiento metálico con los cables de alta tensión. Todos los tipos habituales de cables de alto voltaje se pueden conectar sin problemas a través de extremos de sellado de cables convencionales o tipos de enchufes. El conductor primario entre el extremo de sellado del cable y el equipo de distribución se puede quitar en el módulo de alimentación saliente adyacente para realizar una prueba de resistencia a alto voltaje.

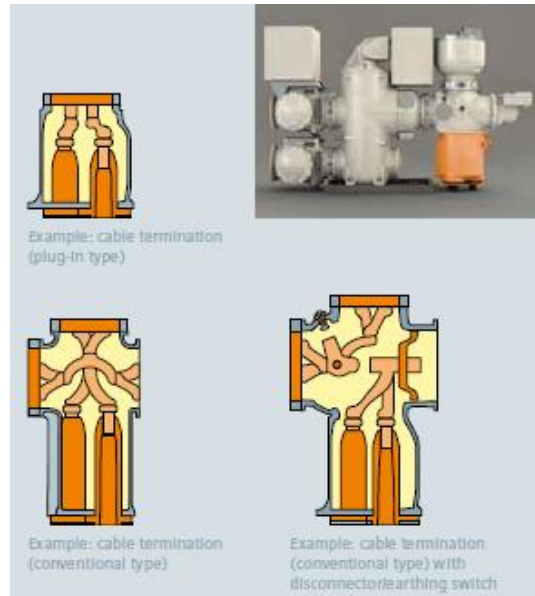


Imagen 65. Terminación cable

#### 22.1.2.8.2. SF6 / terminación de aire

El módulo de terminación de aire / SF6 de un solo polo forma la transición del dispositivo de conmutación con aislamiento de gas a los componentes con aislamiento de aire o líneas aéreas. Esta terminación es una combinación de módulos de conexión unipolares y un buje exterior / SF6. La longitud, la forma del cobertizo y la distancia de fuga del buje exterior / SF6 se determinan de acuerdo con la coordinación del aislamiento, el espacio libre mínimo y el grado de contaminación. El módulo de terminación exterior es adecuado para conexiones con aislamiento de aire entre GIS y:

- Líneas principales
- Transformadores exteriores o reactores con conectores pelados.
- Extremos de sellado exterior de cables de alta tensión.

La división de los puntos de conexión para las tres fases con el espacio necesario en el aire para el aislamiento del conductor se tiene en cuenta en el diseño del equipo de distribución.

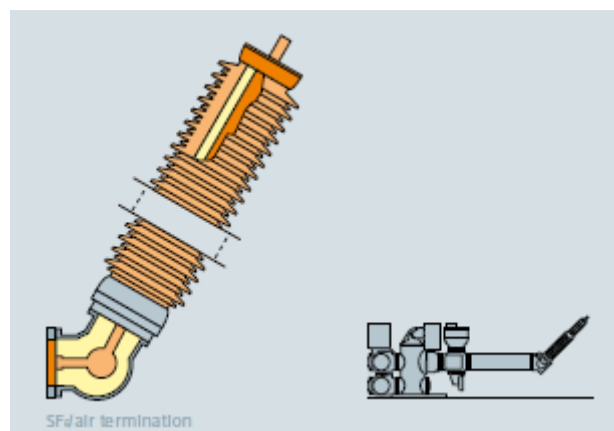


Imagen 66. SF6 / Terminación de aire

#### 22.1.2.8.3. Conexión directa de transformadores

Al igual que el módulo de terminación exterior, el módulo de terminación de transformador monopolar se conecta al compartimiento básico trifásico encapsulado a través de una combinación de módulos de conexión. Efectúa la transición a prueba de contacto del GIS directamente al buje de los transformadores o reactores con aislamiento de aceite. El buje del transformador debe ser a prueba de luz y resistente a la presión del gas. Las juntas de expansión absorben los movimientos relacionados con la temperatura y el asentamiento no uniforme de los equipos de conmutación y de los transformadores.

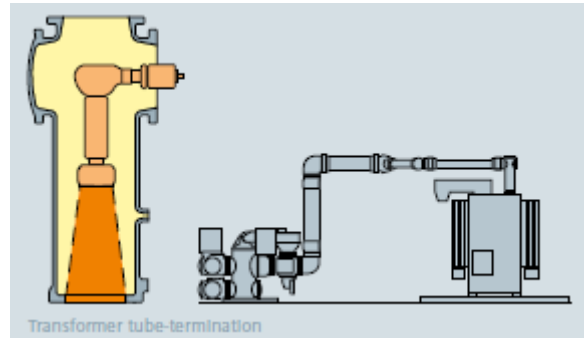


Imagen 67. Terminación en tubo para el transformador

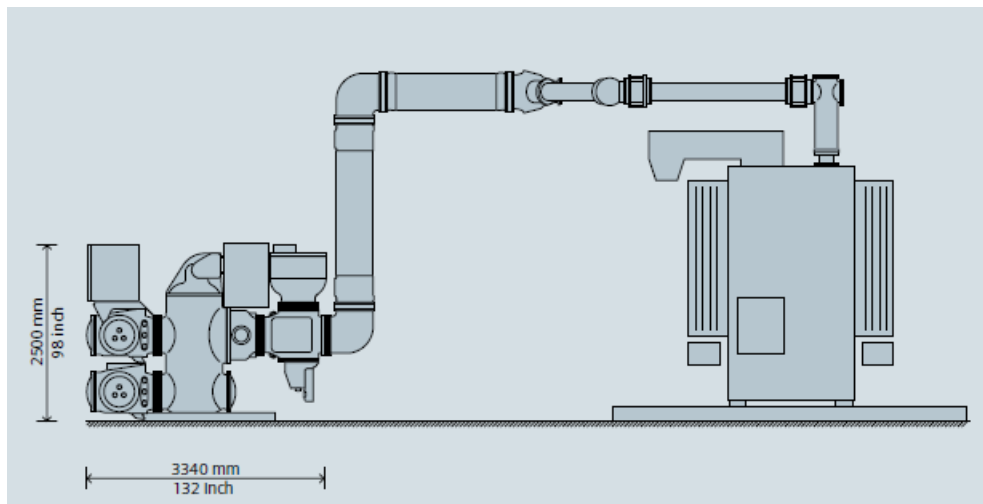


Imagen 68. Dimensiones y conexión directa al transformador

#### 22.1.2.9. Control y seguimiento - control consistente y flexible y protección

##### 22.1.2.9.1. Control de apartamento comprobado.

Todos los elementos para los circuitos auxiliares y de control están alojados en una disposición descentralizada en los dispositivos de conmutación de alto voltaje. Los mecanismos de accionamiento completos para el conmutador se prueban en fábrica. Sólo se ha probado y probado la tecnología Siemens en los circuitos auxiliares y de control.

El equipo de conmutación generalmente se suministra completo con cableado interno, por ejemplo, hasta el cubículo de control local integrado. Esto minimiza el tiempo requerido para la instalación y puesta en servicio.

Se pueden proporcionar sensores e interfaces adicionales para sistemas de diagnóstico o módulos para el monitoreo permanente de la condición de datos actual precisa.

#### 22.1.2.9.2. Monitoreo de gas

Cada compartimento de distribución se divide en varios compartimientos de gas. Estos compartimientos de gas se monitorean constantemente mediante monitores de densidad con indicadores integrados; cualquier desviación se indica tan pronto como alcanza el umbral de respuesta definido. Los sensores de densidad disponibles opcionalmente permiten la indicación remota y el procesamiento adicional del valor medido actual para cada compartimiento de gas en los sistemas de control y protección digital.

#### 22.1.2.9.3. Sistema de control y protección flexible y fiable.

El control y la protección del alimentador se pueden acomodar en el cubículo de control local, que a su vez está integrado en el panel de operación del compartimento de distribución. Esto reduce la cantidad de espacio necesario y el tiempo requerido para la instalación. Alternativamente, una versión del cubículo de control local para instalación separada del equipo de distribución está disponible como una solución flexible para cumplir diferentes requisitos con respecto a la disposición de los componentes de control y protección. El cableado entre el cubículo de control local y los dispositivos de conmutación de alto voltaje se efectúa a través de enchufes codificados. Esto asegura una asignación clara.

Por supuesto, los conmutadores de la serie 8DN8 están disponibles a pedido con cualquier sistema de protección y control de bahías y subestaciones comúnmente disponible, así como sistemas uniformes para satisfacer sus requisitos individuales. Las interfaces estándar en el control del interruptor permiten la interconexión de:

- Sistemas de control convencionales con enclavamiento de protección y panel de control.
- Sistemas de control digital con controles de bahía de fácil manejo y automatización de subestaciones con estación de operador de PC (HMI)
- Sistemas inteligentes de control y protección digital totalmente conectados a la red con funciones adicionales de monitoreo y diagnóstico remoto.

La amplia gama de sistemas de control y protección de Siemens nos permite proporcionar conceptos personalizados desde una única fuente.

#### 22.1.2.10. Operación y mantenimiento

Los equipos de conmutación con aislamiento de gas están diseñados y fabricados para lograr un equilibrio óptimo entre el diseño, los materiales utilizados y el mantenimiento requerido. Las carcasas herméticamente selladas y el monitoreo automático aseguran que los montajes prácticamente no necesitan mantenimiento en condiciones normales de operación. Recomendamos que la primera inspección importante se realice después de 25 años.



*Imagen 69. Ejemplo de celdas GIS con sus equipos de monitoreo*

Una vez que se han dimensionado todos los elementos, sus conexiones y protección, se muestra el esquema unifilar de la instalación de la central, la parte correspondiente dentro del alcance, en el plano 10.

## 23. Estudio de viabilidad

### 23.1. Datos de partida para el estudio

El estudio de viabilidad a realizar parte de una serie de premisas, las cuales se recogen a continuación:

- Precio del kWh inicial en horas punta: 0.1348 €
- Precio del kWh inicial en horas valle: 0.076 €
- Producción media anual: 318526.90 MWh
- Consumo medio anual: 515930.77 MWh
- Inversión a realizar según el presupuesto realizado 50353.543 miles €
- Porcentaje de la inversión : 100%
- Intereses de préstamo: 8.5%
- Periodos de carencia: 2 años
- Amortización de los créditos: 6 años
- Inflación: 2%
- Años del estudio: 20

<b>Central reversible Panzares</b>	Inversión inicial (miles €)	50353,54	% préstamo	100%
	IVA (miles €)	10574,24	% interés	8.5%
	Fondos totales (miles €)	60927,78	Años amortización	8

Tabla 21. Datos de partida del estudio

### 23.2. Cálculos y parámetros determinados

Las operaciones a realizar para obtener los diferentes parámetros necesarios para conocer la viabilidad o no del presente proyecto son las siguientes:

- Fondos totales: es la inversión más el IVA en miles de € ( $50353.54 + 10574.24 = 60927.78$  miles de euros)
- Precio del kWh: incremento del 1% anual partiendo del precio inicial.
- Gastos de explotación: 4% de las ventas.
- Gastos de gestión: el 2% de las ventas.
- Las ventas son los € obtenidos de la compañía eléctrica que resultan de restar al valor obtenido de multiplicar el precio del kWh por la producción durante el turbinado el valor de la compra de la energía consumida durante el bombeo.
- Gastos financieros:  $GF = (\text{principal del préstamo} - \text{amortizaciones realizadas}) \times \text{tipo de interés}$ .
- Amortización: Inversión total (sin IVA) partido del número de años (en este caso 20)
- Beneficio antes de impuestos: Ventas menos sumatorio de gastos totales existentes y la amortización.
- Cuota de impuesto: deducción por inversiones, los años que se producen estas.
- Deducción por inversiones: 20% de la cuota de impuesto, los años que se producen estas.
- Cuota efectiva: diferencia entre la cuota de impuestos y la deducción por inversiones.



- Beneficio después de impuestos: beneficio antes de impuestos menos la cuota efectiva.
- Beneficio actualizado: beneficio después de impuestos entre el coeficiente de inflación acumulada, siendo ésta incrementada en % dado por la inflación, partiendo de 1 más la inflación.
- Beneficio actualizado acumulado es el sumatorio de los beneficios actualizados de años anteriores y el considerado.
- El IVA calculado lo devuelven por entero al siguiente año de la inversión
- Amortización de préstamos: cociente entre la parte correspondiente a cada crédito y el número de años de amortización del crédito en cuestión, a partir del siguiente año de los de carencia.
- Cash-flow: beneficio antes de impuestos más la devolución del IVA, la amortización y menos la cuota efectiva y la amortización de los préstamos.
- Valor actualizado neto (VAN): cash-flow entre el coeficiente de inflación acumulada.
- Valor actualizado neto acumulado: suma de los VAN de años anteriores y del considerado.

## 23.3. Resultados obtenidos

AÑO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Precio kWh	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Inflación acumulada	1,02	1,04	1,06	1,08	1,10	1,13	1,15	1,17	1,20	1,22
Producción	318526,90	318526,90	318526,90	318526,90	318526,90	318526,90	318526,90	318526,90	318526,90	318526,90
Precio kWh actualizado G	0,1348	0,136148	0,1375095	0,1388846	0,1402734	0,1416762	0,1430929	0,1445238	0,1459691	0,1474288
Consumo	515930,77	515930,77	515930,77	515930,77	515930,77	515930,77	515930,77	515930,77	515930,77	515930,77
Precio kWh actualizado C	0,076	0,07676	0,0775276	0,0783029	0,0790859	0,0798768	0,0806755	0,0814823	0,0822971	0,0831201
Ventas	3726,69	3763,96	3801,59	3839,61	3878,01	3916,79	3955,95	3995,51	4035,47	4075,82
G. explotación	149,07	150,56	152,06	153,58	155,12	156,67	158,24	159,82	161,42	163,03
G. gestión	74,53	75,28	76,03	76,79	77,56	78,34	79,12	79,91	80,71	81,52
G. financieros	5178,86	5178,86	5178,86	4531,50	3884,15	3236,79	2589,43	1942,07	1294,72	647,36
Amortización	2517,68	2517,68	2517,68	2517,68	2517,68	2517,68	2517,68	2517,68	2517,68	2517,68
Bº antes de impuestos	-4193,45	-4158,42	-4123,04	-3439,95	-2756,50	-2072,69	-1388,51	-703,97	-19,05	666,24
Cuota del impuesto	-1397,82	-1386,14	-1374,35	-1146,65	-918,83	-690,90	-462,84	-234,66	-6,35	222,08
Deducción por inversión	-279,56	-277,23	-274,87	-229,33	-183,77	-138,18	-92,57	-46,93	-1,27	44,42
Cuota efectiva	-1118,25	-1108,91	-1099,48	-917,32	-735,07	-552,72	-370,27	-187,72	-5,08	177,66
Bº después de impuestos	-3075,20	-3049,51	-3023,56	-2522,63	-2021,43	-1519,97	-1018,24	-516,24	-13,97	488,58
Bº actualizado	-3014,90	-2932,22	-2852,42	-2335,77	-1837,66	-1345,11	-885,43	-441,23	-11,64	400,47
Bº act. acumulado	-3014,90	-5947,12	-8799,54	-11135,30	-12972,97	-14318,08	-15203,50	-15644,74	-15656,38	-15255,91
Devolución IVA	0	10574,24	0	0	0	0	0	0	0	0
Amortización préstamo	0	0	7615,97	7615,97	7615,97	7615,97	7615,97	7615,97	7615,97	7615,97
Cash-flow	-557,52	10042,41	-8121,86	-7620,92	-7119,73	-6618,27	-6116,54	-5614,54	-5112,27	-4609,72
VAN	-546,59	9656,17	-7662,13	-7056,41	-6472,48	-5856,87	-5318,73	-4798,75	-4260,22	-3778,46
Van actualizado	-546,59	9109,58	1447,45	-5608,97	-12081,45	-17938,32	-23257,05	-28055,80	-32316,02	-36094,48

AÑO	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Precio kWh	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Inflación acumulada	1,24	1,27	1,29	1,32	1,35	1,37	1,40	1,43	1,46	1,49
Producción	318526,90	318526,90	318526,90	318526,90	318526,90	318526,90	318526,90	318526,90	318526,90	318526,90
Precio kWh actualizado G	0,14890	0,15039	0,15190	0,15341	0,15495	0,15650	0,15806	0,15964	0,16124	0,16285
Consumo	515930,77	515930,77	515930,77	515930,77	515930,77	515930,77	515930,77	515930,77	515930,77	515930,77
Precio kWh actualizado C	0,08395	0,08479	0,08564	0,08650	0,08736	0,08823	0,08912	0,09001	0,09091	0,09182
<b>Ventas</b>	4116,58	4157,75	4199,33	4241,32	4283,73	4326,57	4369,84	4413,53	4457,67	4502,25
<b>G. explotación</b>	164,66	166,31	167,97	169,65	171,35	173,06	174,79	176,54	178,31	180,09
<b>G. gestión</b>	82,33	83,15	83,99	84,83	85,67	86,53	87,40	88,27	89,15	90,04
<b>G. financieros</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Amortización</b>	2517,68	2517,68	2517,68	2517,68	2517,68	2517,68	2517,68	2517,68	2517,68	2517,68
<b>Bº antes de impuestos</b>	1351,91	1390,61	1429,69	1469,16	1509,03	1549,30	1589,97	1631,04	1672,53	1714,43
<b>Cuota del impuesto</b>	450,64	463,54	476,56	489,72	503,01	516,43	529,99	543,68	557,51	571,48
<b>Deducción por inversión</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Cuota efectiva</b>	450,64	463,54	476,56	489,72	503,01	516,43	529,99	543,68	557,51	571,48
<b>Bº después de impuestos</b>	901,27	927,07	953,13	979,44	1006,02	1032,87	1059,98	1087,36	1115,02	1142,96
<b>Bº actualizado</b>	726,83	729,98	738,86	742,00	745,20	753,92	757,13	760,39	763,71	767,08
<b>Bº act. acumulado</b>	-14529,07	-13799,10	-13060,24	-12318,24	-11573,04	-10819,12	-10061,99	-9301,60	-8537,89	-7770,80
<b>Devolución IVA</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Amortización préstamo</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Cash-flow</b>	3418,95	3444,75	3470,80	3497,12	3523,70	3550,54	3577,66	3605,04	3632,70	3660,63
<b>VAN</b>	2757,22	2712,40	2690,55	2649,33	2610,15	2591,64	2555,47	2521,01	2488,15	2456,80
<b>Van actualizado</b>	-33337,26	-30624,86	-27934,32	-25284,98	-22674,84	-20083,20	-17527,73	-15006,72	-12518,58	-10061,77

Tabla 22. Resultados anuales del estudio de viabilidad

Resultados finales	
Ventas	82057,96
G. explotación	3282,32
G. gestión	1641,16
G. financieros	33662,60
Amortización	50353,54
Bº antes de impuestos	-6881,66
Cuota del impuesto	-2293,89
Deducción por inversión	-1479,29
Cuota efectiva	-814,60
Bº después de impuestos	-6067,06
Bº actualizado	-7770,80
Bº actualizado acumulado	-
Devolución IVA	10574,24
Amortización préstamo	60927,79
Cash-flow	-6067,06
VAN	-10061,77
Van actualizado	-

Tabla 23. Resultados totales del estudio de viabilidad

### 23.3.1. Factor de utilización de la central como generadora de energía

El factor de utilización de la central es un parámetro que muestra el porcentaje de aprovechamiento de una central hidroeléctrica a lo largo del año. Para este caso tiene el siguiente valor:

$$f_u = \frac{E_{generada}}{P_{inst} \cdot T_o} = \frac{318.5269 \cdot 10^6 \text{ kWh}}{140776.99 \text{ kW} \cdot 8760 \text{ h}} = 0.2583 \rightarrow 25.83\%$$

### 23.3.2. Índices de potencia y de energía

A continuación se obtienen tanto el índice de potencia como de energía de la central como generadora.

$$I_P = \frac{\text{Inversión total}}{P_{inst}} = \frac{60927787.03 \text{ €}}{140776.99 \text{ kW}} = 432.7965 \text{ €/kW}$$

$$I_E = \frac{\text{Inversión total}}{E_{generada}} = \frac{60927787.03 \text{ €}}{315.7163 \cdot 10^6 \text{ kWh}} = 0.1913 \text{ €/kWh}$$

#### 23.4. Conclusiones

Analizándose los resultados finales obtenidos del estudio de viabilidad realizado, se puede observar con claridad que en un periodo de 20 años, que son los años empleados, la central reversible de Panzares no consigue obtener beneficios. Este suceso hace concluir que el periodo de retorno de la central hidroeléctrica, dada la inversión de capital inicial, ventas y compra de energía y demás operaciones financieras, es superior a los 20 años planteados. Así, en este periodo de tiempo estudiado se tienen unas pérdidas superiores a 10 millones de euros, lo que es una cifra bastante significativa.

Por otro lado cabe destacar que el estudio se ha hecho a partir de un presupuesto que solo engloba aquellas partes del diseño que entraban dentro del alcance establecido desde un principio. Se deja por tanto una parte notable de elementos constructivos no reflejada su partida económica en el presupuesto, por lo que la cantidad total de la inversión se vería incrementada bastante, y por tanto las pérdidas en el periodo planteado serían superiores a la cifra obtenida.

Por otro lado, el factor de utilización de la central diseñada es bajo, de un 25.83 % lo que se traduce en un bajo aprovechamiento de la central como sistema de generación de energía eléctrica.



**UNIVERSIDAD  
DE LA RIOJA**

# DISEÑO DE UNA CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE BOMBEO

Trabajo fin de máster

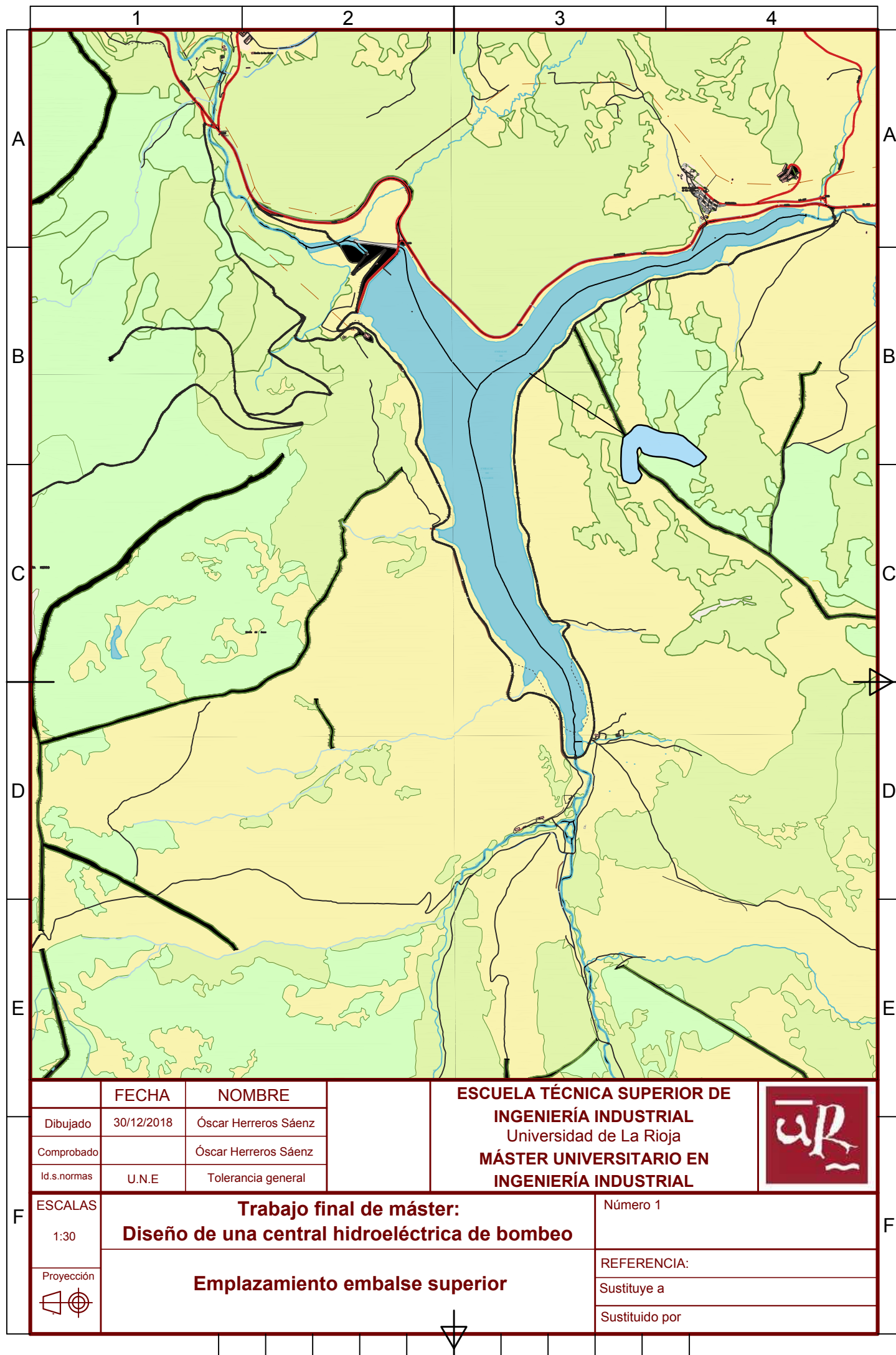
**Planos**

Autor: **Óscar Herreros Sáenz**  
Máster universitario en Ingeniería Industrial  
Marzo de 2019, Logroño (La Rioja)

Tutores del trabajo:  
**Montserrat Mendoza Villena**, Departamento de Ingeniería Eléctrica.  
**Pedro María Lara Santillán**, Departamento de Ingeniería Eléctrica.

## Índice de contenidos

1. Plano 1: “Emplazamiento embalse superior” .....	138
2. Plano 2: “Perfil de la central hidroeléctrica” .....	139
3. Plano 3: “Sala de máquinas” .....	140
4. Plano 4: “Dimensiones de la turbina Francis” .....	141
5. Plano 5: “Esquema de una máquina asíncrona doblemente alimentada” .....	142
6. Plano 6: “Dimensiones del transformador” .....	143
7. Plano 7: “Dimensiones del transformador para equipos de BT” .....	144
8. Plano 8: “Disposición de los elementos electricos de la central hidroeléctrica en planta” ..	145
9. Plano 9: “Dimensiones de la celda 24 kV ET1” .....	146
10. Plano 10: “Esquema unifilar de la central hidroeléctrica” .....	147



	FECHA	NOMBRE
Dibujado	30/12/2018	Óscar Herreros Sáenz
Comprobado		Óscar Herreros Sáenz
Id.s.normas	U.N.E	Tolerancia general

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE  
INGENIERÍA INDUSTRIAL**  
Universidad de La Rioja  
**MÁSTER UNIVERSITARIO EN  
INGENIERÍA INDUSTRIAL**



ESCALAS  
1:30

**Trabajo final de máster:  
Diseño de una central hidroeléctrica de bombeo**

Número 1



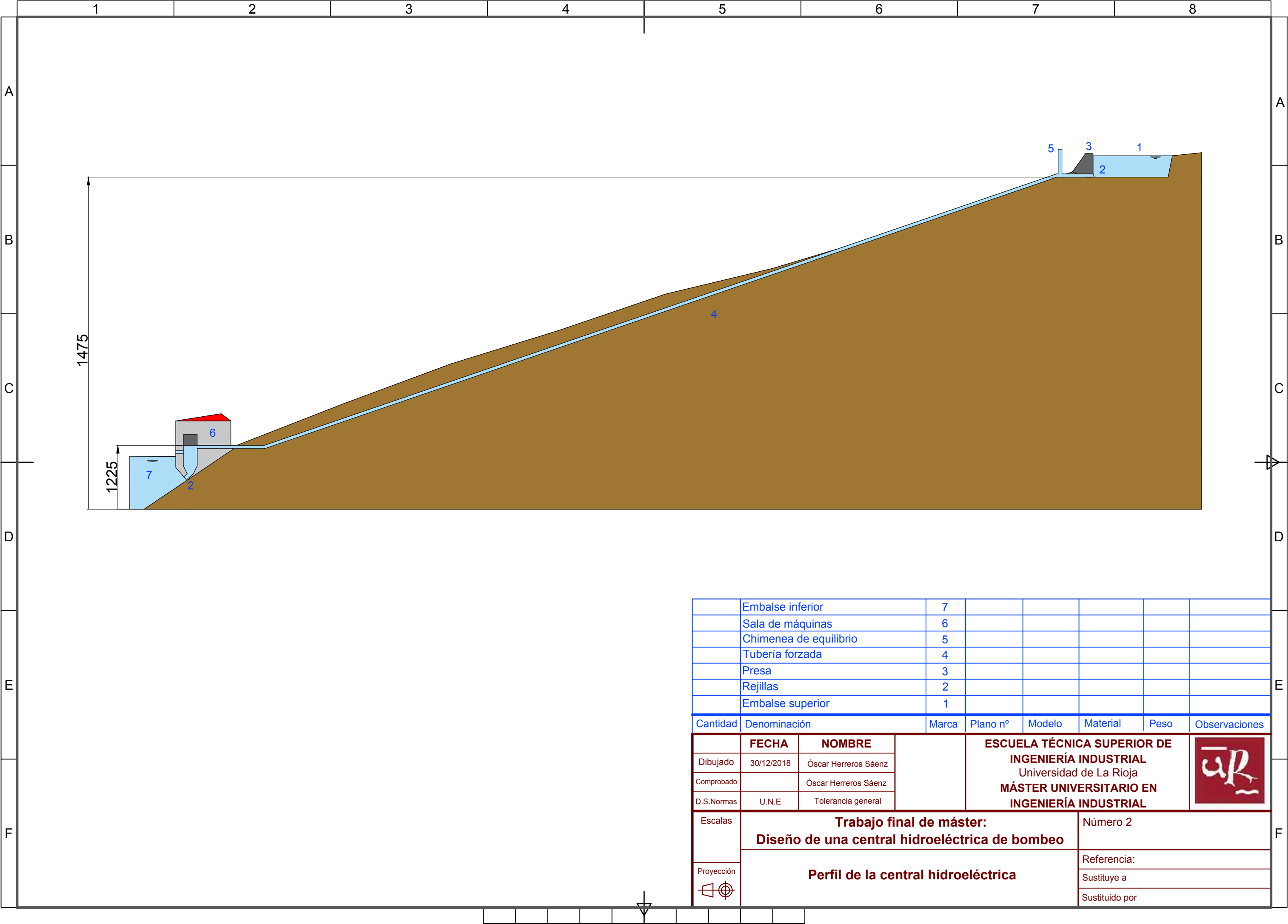
**Emplazamiento embalse superior**

REFERENCIA:

Sustituye a

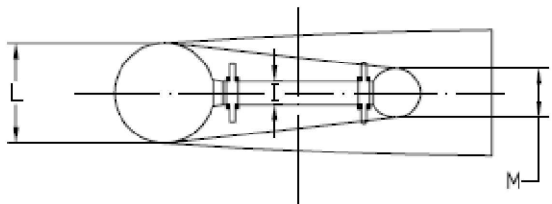
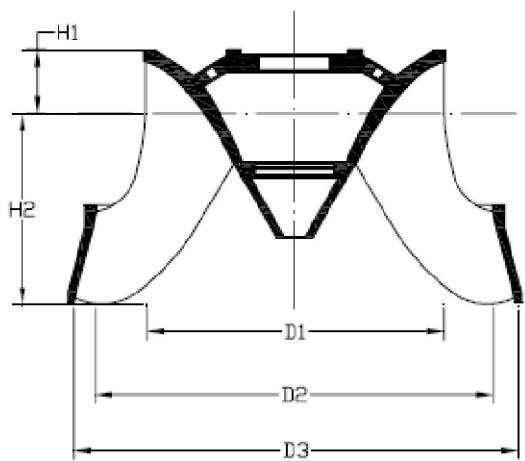
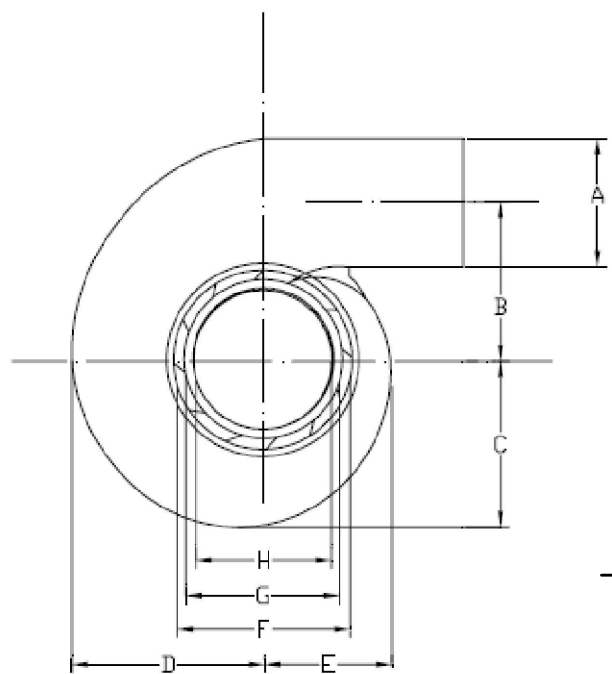






Sustituido por

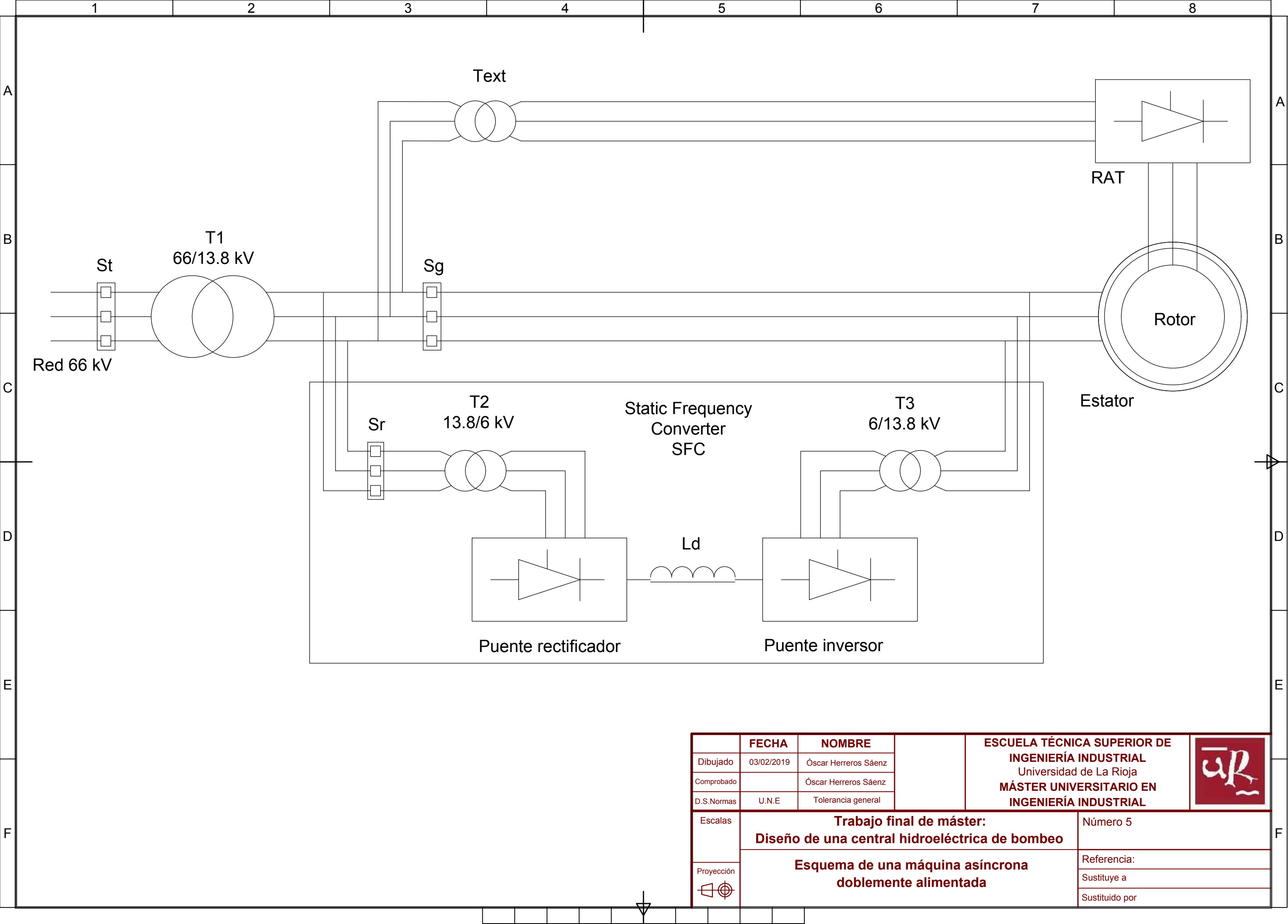




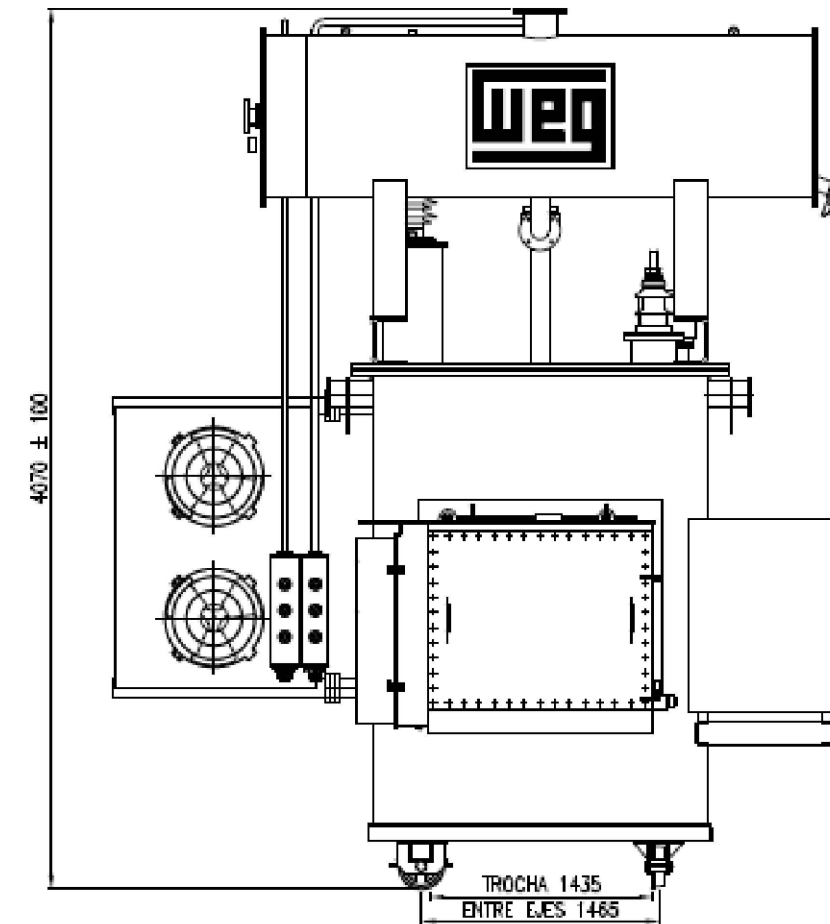
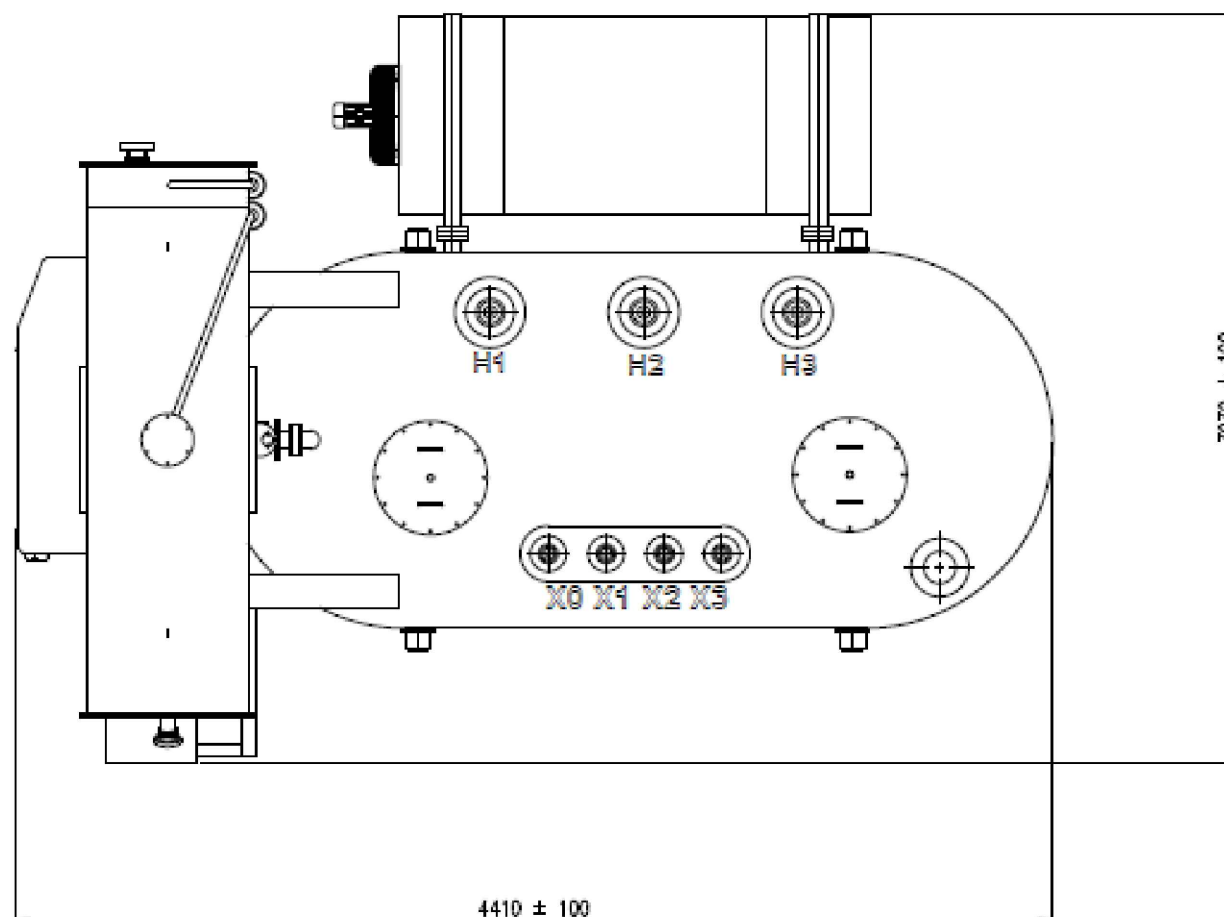
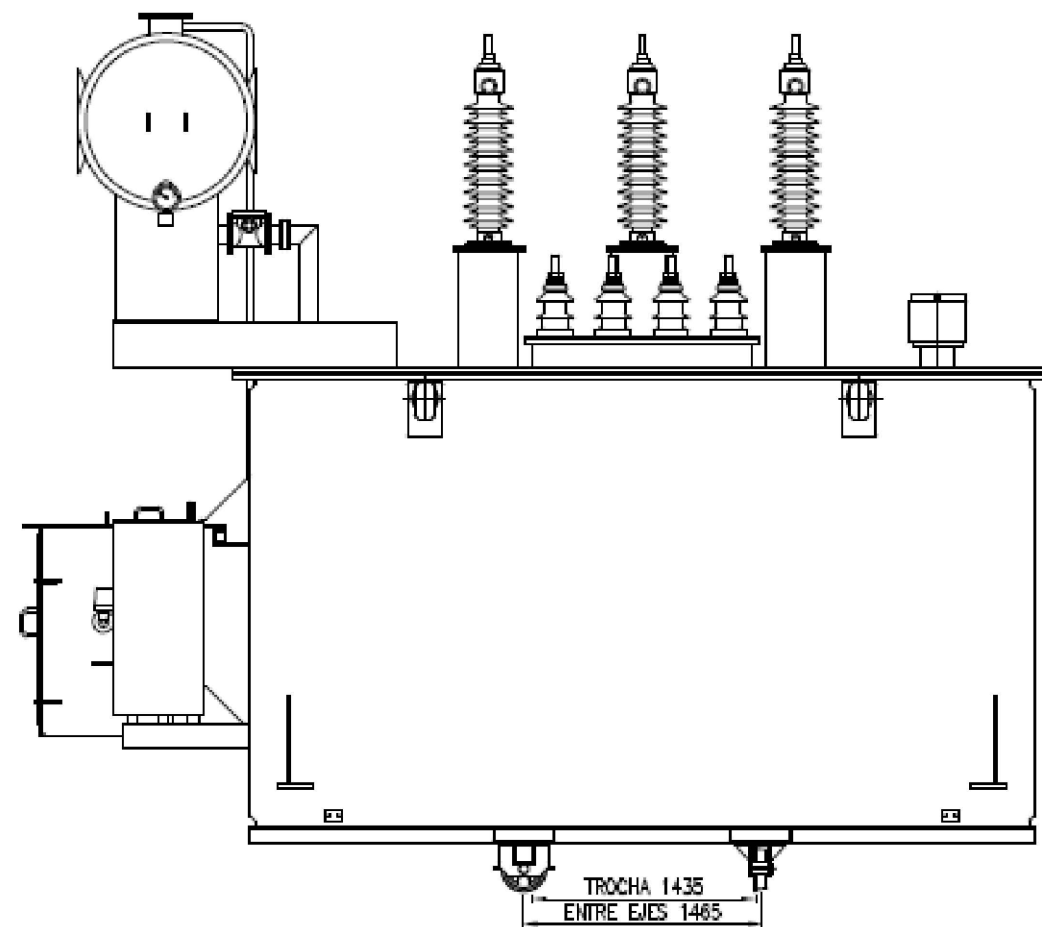
	Embalse inferior	7					
	Sala de máquinas	6					
	Chimenea de equilibrio	5					
	Tubería forzada	4					
	Presa	3					
	Rejillas	2					
	Embalse superior	1					
Cantidad	Denominación	Marca	Plano nº	Modelo	Material	Peso	Observaciones
	FECHA	NOMBRE	ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA INDUSTRIAL Universidad de La Rioja MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL				
Dibujado	30/12/2018	Óscar Herreros Sáenz					
Comprobado		Óscar Herreros Sáenz					
D.S.Normas	U.N.E	Tolerancia general					
Escalas	Trabajo final de máster: Diseño de una central hidroeléctrica de bombeo				Número 2		
	Perfil de la central hidroeléctrica				Referencia:		
					Sustituye a		
					Sustituido por		



	1	2	3	4																								
A																												
B																												
C																												
D																												
E																												
F	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>FECHA</th> <th>NOMBRE</th> <th></th> <th>ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA INDUSTRIAL Universidad de La Rioja MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL</th> <th>  </th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Dibujado</td> <td>30/12/2018</td> <td>Óscar Herreros Sáenz</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Comprobado</td> <td></td> <td>Óscar Herreros Sáenz</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Id.s.normas</td> <td>U.N.E</td> <td>Tolerancia general</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>					FECHA	NOMBRE		ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA INDUSTRIAL Universidad de La Rioja MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL		Dibujado	30/12/2018	Óscar Herreros Sáenz				Comprobado		Óscar Herreros Sáenz				Id.s.normas	U.N.E	Tolerancia general			
	FECHA	NOMBRE		ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA INDUSTRIAL Universidad de La Rioja MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL																								
Dibujado	30/12/2018	Óscar Herreros Sáenz																										
Comprobado		Óscar Herreros Sáenz																										
Id.s.normas	U.N.E	Tolerancia general																										
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>ESCALAS</th> <th>Trabajo final de máster: Diseño de una central hidroeléctrica de bombeo</th> <th>Número 4</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Proyección</td> <td>Dimensiones de la turbina Francis</td> <td>REFERENCIA:</td> </tr> <tr> <td>  </td> <td></td> <td>Sustituye a</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>Sustituido por</td> </tr> </tbody> </table>				ESCALAS	Trabajo final de máster: Diseño de una central hidroeléctrica de bombeo	Número 4	Proyección	Dimensiones de la turbina Francis	REFERENCIA:			Sustituye a			Sustituido por												
ESCALAS	Trabajo final de máster: Diseño de una central hidroeléctrica de bombeo	Número 4																										
Proyección	Dimensiones de la turbina Francis	REFERENCIA:																										
		Sustituye a																										
		Sustituido por																										

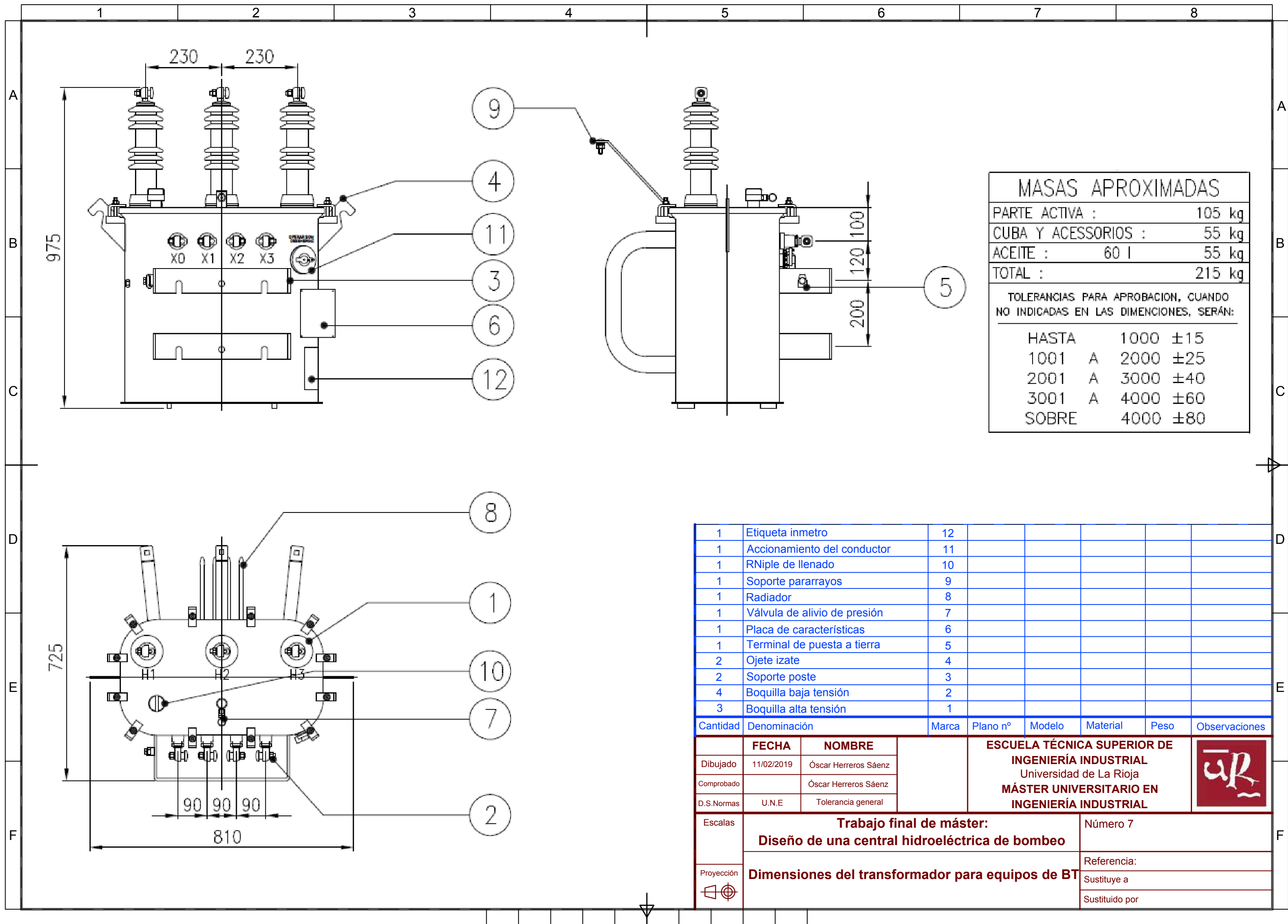


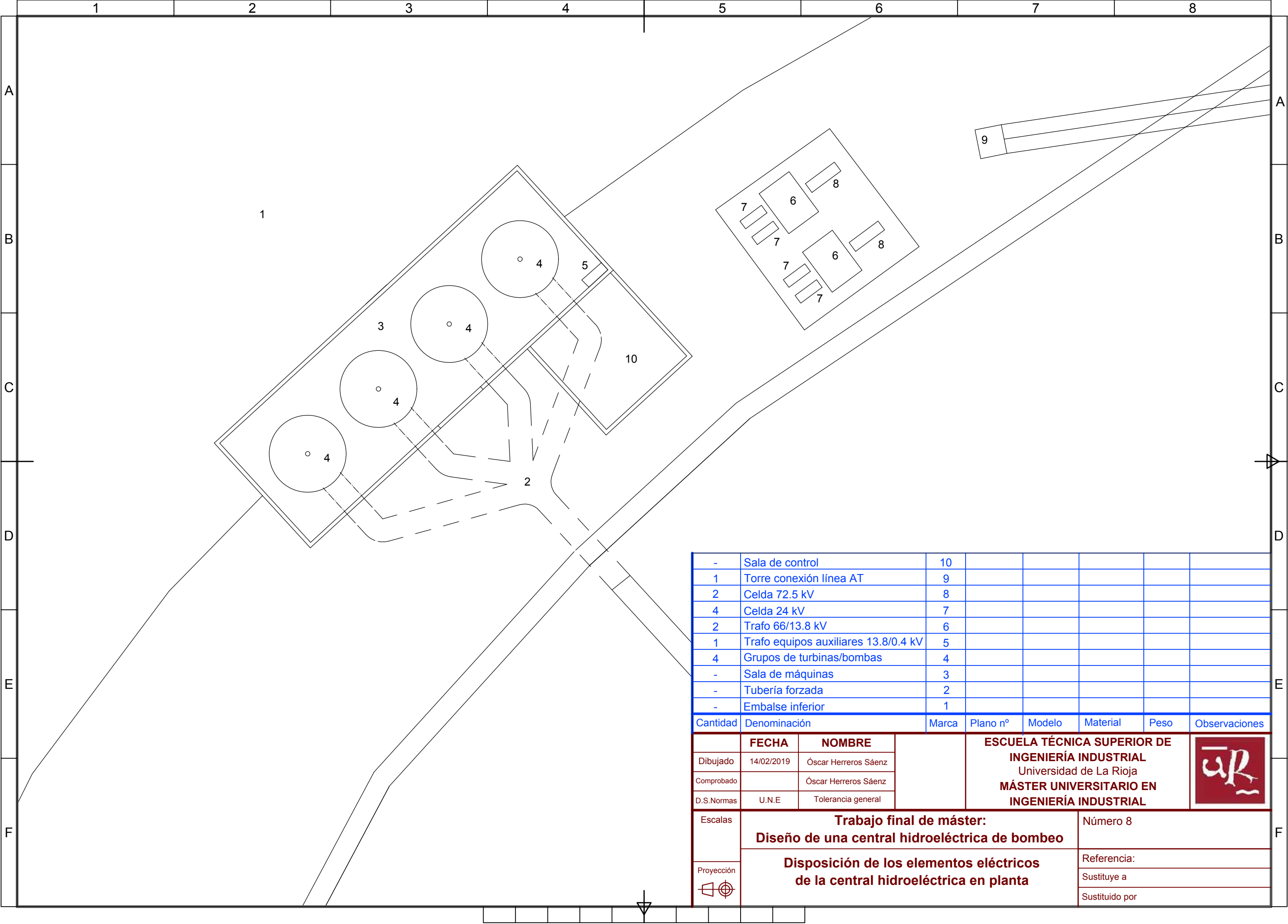
	FECHA	NOMBRE		ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA INDUSTRIAL Universidad de La Rioja MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL	
Dibujado	03/02/2019	Óscar Herreros Sáenz			
Comprobado		Óscar Herreros Sáenz			
D.S.Normas	U.N.E	Tolerancia general			
Escalas	Trabajo final de máster: Diseño de una central hidroeléctrica de bombeo			Número 5	
	Esquema de una máquina asíncrona doblemente alimentada			Referencia:	
				Sustituye a	
				Sustituido por	



PESOS APROXIMADOS (kg)	
PARTE ACTIVA	8250
ESTANQUE Y ACCESÓRIOS	5710
ACEITE	6050 l
TOTAL	19340
PESO APROXIMADO PARA TRANSPORTE	16620
DIMENSIONES PARA TRANSPORTE (mm)	
ALTO	2900
ANCHO	2600
LARGO	3700

FECHA	NOMBRE	ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA INDUSTRIAL	
Dibujado	02/02/2019	Óscar Herreros Sáenz	
Comprobado		Óscar Herreros Sáenz	
D.S.Normas	U.N.E	Tolerancia general	
Escalas	Trabajo final de máster: Diseño de una central hidroeléctrica de bombeo		Número 6
Proyección	Dimensiones del transformador		Referencia:
			Sustituye a
			Sustituido por





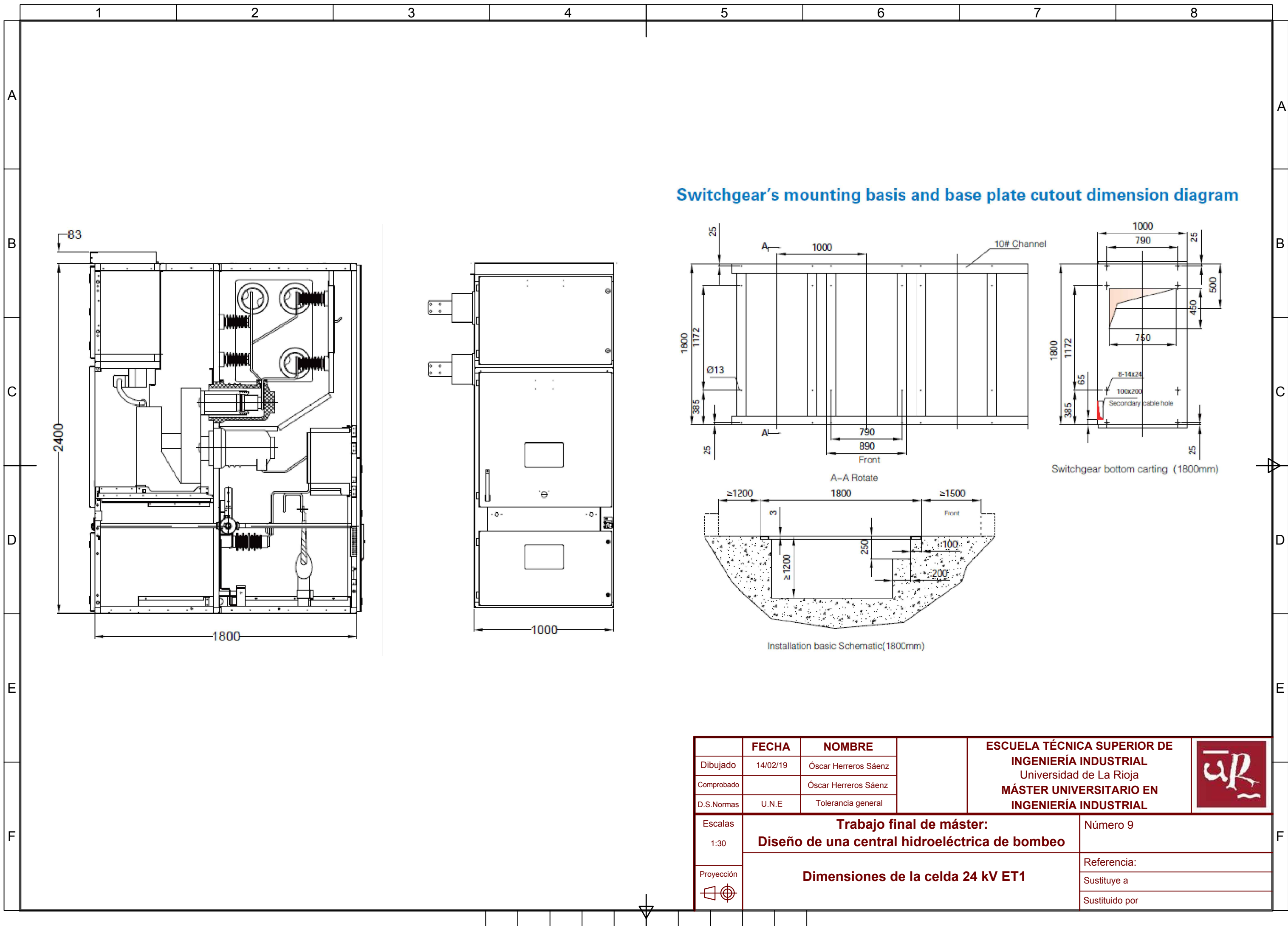
-	Sala de control	10					
1	Torre conexión línea AT	9					
2	Celda 72.5 kV	8					
4	Celda 24 kV	7					
2	Trafo 66/13.8 kV	6					
1	Trafo equipos auxiliares 13.8/0.4 kV	5					
4	Grupos de turbinas/bombas	4					
-	Sala de máquinas	3					
-	Tubería forzada	2					
-	Embalse inferior	1					

Cantidad	Denominación	Marca	Plano nº	Modelo	Material	Peso	Observaciones
----------	--------------	-------	----------	--------	----------	------	---------------

	FECHA	NOMBRE	ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA INDUSTRIAL Universidad de La Rioja MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL				
Dibujado	14/02/2019	Óscar Herreros Sáenz					
Comprobado		Óscar Herreros Sáenz					
D.S.Normas	U.N.E	Tolerancia general					

Escalas	Trabajo final de máster: Diseño de una central hidroeléctrica de bombeo				Número 8		
Proyección 	Disposición de los elementos eléctricos de la central hidroeléctrica en planta				Referencia:		
					Sustituye a		
					Sustituido por		











**UNIVERSIDAD  
DE LA RIOJA**

# DISEÑO DE UNA CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE BOMBEO

Trabajo fin de máster

**Pliego de condiciones**

Autor: **Óscar Herreros Sáenz**  
Máster universitario en Ingeniería Industrial  
Marzo de 2019, Logroño (La Rioja)

Tutores del trabajo:  
**Montserrat Mendoza Villena**, Departamento de Ingeniería Eléctrica.  
**Pedro María Lara Santillán**, Departamento de Ingeniería Eléctrica.

## Índice de contenidos

24. Disposiciones generales .....	154
24.1. Objeto del pliego de condiciones .....	154
24.2. Documentación del contrato de obra .....	154
25. Condiciones facultativas.....	155
25.1. Epígrafe 1: Delimitación general de funciones técnicas .....	155
25.1.1. Director de obra .....	155
25.1.2. Director de ejecución de la obra .....	155
25.1.3. Constructor.....	155
25.2. Epígrafe 2: Obligaciones y derechos generales del constructor o contratista.....	156
25.2.1. Verificación de los documentos del proyecto .....	156
25.2.2. Plan de seguridad e higiene .....	156
25.2.3. Oficina en la obra .....	156
25.2.4. Representación del contratista .....	157
25.2.5. Presencia del constructor en la obra.....	157
25.2.6. Trabajos no estipulados expresamente .....	157
25.2.7. Interpretaciones, aclaraciones y modificaciones de los documentos del proyecto .....	157
25.2.8. Reclamaciones contra las órdenes de la dirección facultativa .....	158
25.2.9. Recusación por el contratista del personal nombrado por el director de la obra .....	158
25.2.10. Falta del personal .....	158
25.3. Epígrafe 3: Prescripciones generales relativas a los trabajos, a los materiales y a los medios auxiliares.....	159
25.3.1. Caminos y accesos.....	159
25.3.2. Replanteo .....	159
25.3.3. Comienzo de la obra. Ritmo de ejecución de los trabajos .....	159
25.3.4. Orden de los trabajos .....	159
25.3.5. Facilidades para otros contratistas .....	159
25.3.6. Ampliación del proyecto por causas imprevistas o de fuerza mayor .....	159
25.3.7. Prorroga por causa de fuerza mayor.....	160
25.3.8. Responsabilidad de la dirección facultativa en el retraso de la obra.....	160
25.3.9. Condiciones generales de ejecución de los trabajos .....	160
25.3.10. Obras ocultas.....	160
25.3.11. Trabajos defectuosos .....	160
25.3.12. Vicios ocultos.....	161
25.3.13. De los materiales y de los aparatos. Su procedencia .....	161

25.3.14. Presentación de muestras .....	161
25.3.15. Materiales no utilizables .....	161
25.3.16. Materiales y aparatos defectuosos .....	161
25.3.17. Gastos ocasionados por pruebas y ensayos.....	162
25.3.18. Limpieza de las obras .....	162
25.3.19. Obras sin prescripciones .....	162
25.4. Epígrafe 4: las recepciones de edificios y obras anejas.....	162
25.4.1. De las recepciones provisionales .....	162
25.4.2. Documentación final de la obra .....	162
25.4.3. Medición definitiva de los trabajos y liquidación provisional de la obra.....	163
25.4.4. Plazo de garantía .....	163
25.4.5. Conservación de las obras recibidas provisionalmente .....	163
25.4.6. De la recepción definitiva.....	163
25.4.7. Prórroga del plazo de garantía .....	163
25.4.8. De las recepciones de trabajos cuya contrata haya sido rescindida.....	163
26. Condiciones económicas .....	164
26.1. Epígrafe 1: Principio general .....	164
26.2. Epígrafe 2 .....	164
26.2.1. Fianzas .....	164
26.2.2. Fianza provisional.....	164
26.2.3. Ejecución de trabajos con cargo a la fianza .....	164
26.2.4. De su devolución en general .....	165
26.2.5. Devolución de la fianza en el caso de efectuarse recepciones parciales.....	165
26.3. Epígrafe 3: de los precios .....	165
26.3.1. Composición de los precios unitarios.....	165
26.3.2. Beneficio industrial.....	165
26.3.3. Precio de ejecución material.....	166
26.3.4. Precio de contrata .....	166
26.3.5. Precios de contrata. Importe de contrata.....	166
26.3.6. Precios contradictorios.....	166
26.3.7. Reclamaciones de aumento de precios por causas diversas .....	166
26.3.8. Formas tradicionales de medir o de aplicar los precios.....	166
26.3.9. De la revisión de los precios contratados .....	166
26.3.10. Acopio de materiales.....	167
26.4. Epígrafe 4: obras por administración .....	167
26.4.1. Administración .....	167

26.4.2. Obra por administración directa .....	167
26.4.3. Obras por administración delegada o indirecta .....	167
26.4.4. Liquidación de obras por administración .....	168
26.4.5. Abono al constructor de las cuentas de administración delegada .....	168
26.4.6. Normas para la adquisición de los materiales y aparatos .....	168
26.4.7. Responsabilidad del constructor en el bajo rendimiento de los obreros .....	169
26.4.8. Responsabilidades del constructor .....	169
26.5. Epígrafe 5: de la valoración y abono de los trabajos .....	169
26.5.1. Formas varias de abono de las obras .....	169
26.5.2. Relaciones valoradas y certificaciones .....	170
26.5.3. Mejoras de obras libremente ejecutadas .....	170
26.5.4. Abono de trabajos presupuestados con partidaalzada .....	171
26.5.5. Abono de agotamientos y otros trabajos especiales no contratados .....	171
26.5.6. Pagos .....	171
26.5.7. Abono de trabajos ejecutados durante el plazo de garantía .....	171
26.6. Epígrafe 6: de las indemnizaciones mutuas .....	172
26.6.1. Importe de la indemnización por retraso no justificado en el plazo de terminación de las obras .....	172
26.6.2. Demora de los pagos .....	172
26.7. Epígrafe 7: varios .....	172
26.7.1. Mejoras y aumentos de obra. Casos contrarios .....	172
26.7.2. Unidades de obra defectuosas pero aceptables .....	173
26.7.3. Seguro de las obras .....	173
26.7.4. Conservación de la obra .....	173
26.7.5. Uso por el contratista de edificio o bienes del propietario .....	174
27. Condiciones técnicas particulares .....	175
27.1. Epígrafe 1: condiciones generales .....	175
27.1.1. Calidad de los materiales .....	175
27.1.2. Pruebas y ensayos de materiales .....	175
27.1.3. Materiales no consignados en este proyecto .....	175
27.1.4. Condiciones generales de ejecución .....	175
27.2. Epígrafe 2: condiciones que han de cumplir los materiales .....	175
27.2.1. Materiales para hormigones y morteros .....	175
27.2.2. Acero .....	177
27.2.3. Materiales auxiliares de hormigón .....	177
27.2.4. Desencofrantes .....	177

27.2.5. Encofrados y cimbras .....	177
27.2.6. Aglomerantes excluido cemento .....	178
27.2.7. Materiales de cubierta .....	179
27.2.8. Plomo y cinc .....	179
27.2.9. Materiales para fábrica y forjados .....	179
27.2.10. Materiales para soldados y alicatados .....	180
27.2.11. Carpintería de taller .....	181
27.2.12. Carpintería metálica .....	181
27.2.13. Pintura .....	182
27.2.14. Colores, aceites barnices, etc. ....	182
27.2.15. Fontanería .....	182
27.2.16. Instalaciones eléctricas .....	183
27.3. Epígrafe 3: condiciones para la ejecución de las unidades de obra.....	184
27.3.1. Movimientos de tierras .....	184
27.3.2. Hormigones .....	186
27.3.3. Morteros .....	188
27.3.4. Encofrados.....	189
27.3.5. Armaduras .....	190
27.3.6. Albañilería .....	190
27.3.7. Solados y alicatados .....	193
27.3.8. Carpintería de taller .....	194
27.3.9. Carpintería metálica .....	194
27.3.10. Pintura .....	194
27.3.11. Fontanería .....	195
27.3.12. Instalación eléctrica .....	195
27.3.13. Precauciones a adoptar .....	196
27.4. Epígrafe 4: control de la obra.....	196
27.4.1. Control del hormigón .....	196
28. Anexos.....	197
28.1. Anexo 1: instrucción estructuras de hormigón EHE.....	197
28.1.1. Cemento .....	197
28.1.2. Agua de amasado .....	197
28.1.3. Áridos .....	197
28.2. Anexo 2: condiciones acústicas de los edificios: nbe-ca-88.....	197
28.2.1. Características básicas exigibles a las soluciones constructivas .....	197
28.2.2. Presentación, medidas y tolerancias.....	197

28.2.3. Garantía de las características .....	198
28.2.4. Control, recepción y ensayo de los materiales .....	198
28.2.5. Laboratorios de ensayos .....	199
28.3. Anexo 3: dB si seguridad en caso de incendio .....	199
28.3.1. Exigencias básicas de seguridad en caso de incendio (si) .....	199
28.3.2. Ámbito de aplicación.....	199

## 24. Disposiciones generales

### 24.1. Objeto del pliego de condiciones

El pliego de tiene por objetivo el regular la ejecución de las obras fijando los niveles técnicos y de calidad exigibles, precisando las intervenciones que corresponden, según el contrato y con arreglo a la legislación aplicable, al Promotor o dueño de la obra, al Contratista o constructor de la misma, sus técnicos y encargados, al Director de obra y al Director de Ejecución de la obra, así como las relaciones entre todos ellos y sus correspondientes obligaciones en orden al cumplimiento del contrato de obra.

### 24.2. Documentación del contrato de obra

Integran el contrato los siguientes documentos relacionados por orden de prelación en cuanto al valor de sus especificaciones en caso de omisión o aparente contradicción:

- 1º. Las condiciones fijadas en el propio documento de contrato de empresa o arrendamiento de obra, si existiera.
- 2º. El Pliego de Condiciones particulares.
- 3º. El presente Pliego General de Condiciones.
- 4º. El resto de la documentación de Proyecto (memoria, planos, mediciones y presupuesto).

Las órdenes e instrucciones de la Dirección facultativa de la obra se incorporan al Proyecto como interpretación, complemento o precisión de sus determinaciones.

En cada documento, las especificaciones literales prevalecen sobre las gráficas y en los planos, la cota prevalece sobre la medida a escala.



## 25. Condiciones facultativas

### 25.1. Epígrafe 1: Delimitación general de funciones técnicas

#### 25.1.1. Director de obra

Corresponde al Director de la Obra:

- a) Comprobar la adecuación de la cimentación proyectada a las características reales del suelo.
- b) Redactar los complementos o rectificaciones del proyecto que se precisen.
- c) Asistir a las obras, cuantas veces lo requiera su naturaleza y complejidad, a fin de resolver las contingencias que se produzcan e impartir las instrucciones complementarias que sean precisas para conseguir la correcta solución arquitectónica.
- d) Coordinar la intervención en obra de otros técnicos que, en su caso, concurran a la dirección con función propia en aspectos parciales de su especialidad.
- e) Aprobar las certificaciones parciales de obra, la liquidación final y asesorar al promotor en el acto de la recepción.
- f) Preparar la documentación final de la obra y expedir y suscribir en unión del Director de ejecución de la obra, el certificado final de la misma

#### 25.1.2. Director de ejecución de la obra

Corresponde al Director de Ejecución de la Obra:

- a) Redactar el documento de estudio y análisis del Proyecto con arreglo a lo previsto en el artículo 1.4. de las Tarifas de Honorarios aprobadas por R.D. 314/1979, de 19 de enero.
- b) Planificar, a la vista del proyecto, del contrato y de la normativa técnica de aplicación, el control de calidad y económico de las obras.
- c) Redactar, cuando se requiera, el estudio de los sistemas adecuados a los riesgos del trabajo en la realización de la obra y aprobar el Plan de seguridad e higiene para la aplicación del mismo.
- d) Efectuar el replanteo de la obra y preparar el acta correspondiente, suscribiéndola en unión del Director de obra y del Constructor.
- e) Comprobar las instalaciones provisionales, medios auxiliares y sistemas de seguridad e higiene en el trabajo, controlando su correcta ejecución.
- f) Ordenar y dirigir la ejecución material con arreglo al proyecto, a las normas técnicas y a las reglas de buenas construcciones

#### 25.1.3. Constructor

Corresponde al Constructor:

- a) Organizar los trabajos de construcción, redactando los planes de obra que se precisen y proyectando o autorizando las instalaciones provisionales y medios auxiliares de la obra.

- b) Elaborar, cuando se requiera, el Plan de Seguridad e Higiene de la obra en aplicación del estudio correspondiente, y disponer, en todo caso, la ejecución de las medidas preventivas, velando por su cumplimiento y por la observancia de la normativa vigente en materia de seguridad e higiene en el trabajo
- c) Suscribir con el DIRECTOR DE LA OBRA y el Director de Ejecución de la Obra, el acta de replanteo de la obra.
- d) Ostentar la Jefatura de todo el personal que intervenga en la obra y coordinar las intervenciones de los subcontratistas.
- e) Asegurar la idoneidad de todos y cada uno de los materiales y elementos constructivos que se utilicen, comprobando los preparados en obra y rechazando, por iniciativa propia o por prescripción del Director de Ejecución de la Obra, los suministros o prefabricados que no cuenten con las garantías o documentos de idoneidad requeridos por las normas de aplicación.
- f) Custodiar el Libro de órdenes y seguimiento de la obra, y dar el enterado a las anotaciones que se practiquen en el mismo.
- g) Facilitar al Director de Ejecución de la Obra, con antelación suficiente, los materiales precios para el cumplimiento de su cometido.
- h) Preparar las certificaciones parciales de obra y la propuesta de liquidación final.
- i) Suscribir con el Promotor las actas de recepción provisional y definitiva.
- j) Concertar los seguros de accidentes de trabajo y de daños a terceros durante la obra.

## 25.2. Epígrafe 2: Obligaciones y derechos generales del constructor o contratista

### 25.2.1. Verificación de los documentos del proyecto

Antes de dar comienzo a las obras, el Constructor consignará por escrito que la documentación aportada le resulta suficiente para la comprensión de la totalidad de la obra contratada, o en caso contrario, solicitará las aclaraciones pertinentes.

### 25.2.2. Plan de seguridad e higiene

El Constructor, a la vista del Proyecto de Ejecución conteniendo, en su caso, el Estudio de Seguridad e Higiene, presentará el Plan de Seguridad e Higiene de la obra a la aprobación del Director de la Obra.

### 25.2.3. Oficina en la obra

El Constructor habilitará en la obra una oficina en la que existirá una mesa o tablero adecuado, en el que puedan extenderse y consultarse los planos. En dicha oficina tendrá siempre con Contratista a disposición de la Dirección Facultativa:

- El Proyecto de Ejecución completo, incluidos los componentes que en su caso redacte el Director de la obra.
- La Licencia de Obras.
- El Libro de Órdenes y Asistencias.
- El Plan de Seguridad e Higiene.
- El Libro de Incidencias.

- El Reglamento y Ordenanza de Seguridad e Higiene en el Trabajo.
- La documentación de los seguros mencionados en el apartado 2.1.3 j).

Dispondrá además el Constructor una oficina para la Dirección facultativa, convenientemente acondicionada para que en ella se pueda trabajar con normalidad a cualquier hora de la jornada.

#### 25.2.4. Representación del contratista

El Constructor viene obligado a comunicar a la propiedad la persona designada como delegado suyo en la obra, que tendrá el carácter de Jefe de la misma, con dedicación plena y con facultades para representarle y adoptar en todo momento cuantas decisiones competen a la contrata.

Serán sus funciones las del Constructor según se especifica en apartado 2.1.3.

Cuando la importancia de las obras lo requiera y así se consigne en el Pliego de "Condiciones particulares de índole facultativa", el Delegado del Contratista será un facultativo de grado superior o grado medio, según los casos.

El Pliego de Condiciones particulares determinará el personal facultativo o especialista que el Constructor se obligue a mantener en la obra como mínimo, y el tiempo de dedicación comprometido.

El incumplimiento de esta obligación o, en general, la falta de cualificación suficiente por parte del personal según la naturaleza de los trabajos, facultará al Director de obra para ordenar la paralización de las obras sin derecho a reclamación alguna, hasta que se subsane la deficiencia.

#### 25.2.5. Presencia del constructor en la obra

El Jefe de Obra, por sí o por medio de sus técnicos, o encargados estará presente durante la jornada legal de trabajo y acompañará al Director de la obra o al Director de Ejecución de la Obra, en las visitas que hagan a las obras, poniéndose a su disposición para la práctica de los reconocimientos que se consideren necesarios y suministrándoles los datos precisos para la comprobación de mediciones y liquidaciones.

#### 25.2.6. Trabajos no estipulados expresamente

Es obligación de la contrata el ejecutar cuando sea necesario para la buena construcción y aspecto de las obras, aun cuando no se halle expresamente determinado en los documentos de Proyecto, siempre que, sin separarse de su espíritu y recta interpretación, lo disponga el Director de la obra dentro de los límites de posibilidades que los presupuestos habiliten para cada unidad de obra y tipo de ejecución.

En defecto de especificación en el Pliego de Condiciones particulares, se entenderá que requiere reformado de proyecto con consentimiento expreso de la propiedad, toda variación que suponga incremento de precios de alguna unidad de obra en más del 20 por 100 ó del total del presupuesto en más de un 10 por 100.

#### 25.2.7. Interpretaciones, aclaraciones y modificaciones de los documentos del proyecto

Cuando se trate de aclarar, interpretar o modificar preceptos de los Pliegos de Condiciones o indicaciones de los planos o croquis, las órdenes e instrucciones correspondientes se comunicarán precisamente por escrito al Constructor, estando éste obligado a su vez a

devolver los originales o las copias suscribiendo con su firma el enterado, que figurará al pie de todas las órdenes, avisos o instrucciones que reciba, tanto del Director de Ejecución de la Obra como del Director de la obra.

Cualquier reclamación que en contra de las disposiciones tomadas por éstos crea oportuno hacer el Constructor, habrá de dirigirla, dentro precisamente del plazo de tres días, a quién la hubiere dictado, el cual dará al Constructor el correspondiente recibo, si éste lo solicitase.

El Constructor podrá requerir del Director de la obra o del Director de Ejecución de la Obra, según sus respectivos cometidos, las instrucciones o aclaraciones que se precisen para la correcta interpretación y ejecución de lo proyectado.

#### 25.2.8. Reclamaciones contra las órdenes de la dirección facultativa

Las reclamaciones que el Contratista quiera hacer contra las órdenes o instrucciones dimanadas de la Dirección Facultativa, solo podrá presentarlas, a través del Director de obra, ante la Propiedad, si son de orden económico y de acuerdo con las condiciones estipuladas en los Pliegos de Condiciones correspondientes. Contra disposiciones de orden técnico del Director de obra o del Director de Ejecución de la Obra, no se admitirá reclamación alguna, pudiendo el Contratista salvar su responsabilidad, si lo estima oportuno, mediante exposición razonada dirigida al Director de obra, el cual podrá limitar su contestación al acuse de recibo, que en todo caso será obligatorio para este tipo de reclamaciones.

#### 25.2.9. Recusación por el contratista del personal nombrado por el director de la obra

El Constructor no podrá recusar a los Directores de la obra, Directores de Ejecución de la Obra o personal encargado por éstos de la vigilancia de las obras, ni pedir que por parte de la propiedad se designen otros facultativos para los reconocimientos y mediciones.

Cuando se crea perjudicado por la labor de éstos procederá de acuerdo con lo estipulado en el artículo precedente, pero sin que por esta causa puedan interrumpirse ni perturbarse la marcha de los trabajos.

#### 25.2.10. Falta del personal

El Director de la obra, en supuestos de desobediencia a sus instrucciones, manifiesta incompetencia o negligencia grave que comprometan o perturben la marcha de los trabajos, podrá requerir al Contratista para que aparte de la obra a los dependientes u operarios causantes de la perturbación.

El Contratista podrá subcontratar capítulos o unidades de obra a otros contratistas e industriales, con sujeción en su caso, a lo estipulado en el Pliego de Condiciones particulares y sin perjuicio de sus obligaciones como Contratista general de la obra.

### 25.3. Epígrafe 3: Prescripciones generales relativas a los trabajos, a los materiales y a los medios auxiliares.

#### 25.3.1. Caminos y accesos

El Constructor dispondrá por su cuenta los accesos a la obra y el cerramiento o vallado de ésta. El Director de Ejecución de la Obra podrá exigir su modificación o mejora.

#### 25.3.2. Replanteo

El Constructor iniciará las obras con el replanteo de las mismas en el terreno, señalando las referencias principales que mantendrá como base de ulteriores replanteos parciales. Dicho trabajo se considerará a cargo del Contratista e incluido en su oferta.

El Constructor someterá el replanteo a la aprobación del Director de Ejecución de la Obra y una vez esto haya dado su conformidad preparará un acta acompañada de un plano que deberá ser aprobada por el Director de la obra, siendo responsabilidad del Constructor la omisión de este trámite.

#### 25.3.3. Comienzo de la obra. Ritmo de ejecución de los trabajos

El Constructor dará comienzo a las obras en el plazo marcado en el Pliego de Condiciones Particulares, desarrollándolas en la forma necesaria para que dentro de los períodos parciales en aquél señalados queden ejecutados los trabajos correspondientes y, en consecuencia, la ejecución total se lleve a efecto dentro del plazo exigido en el Contrato. Obligatoriamente y por escrito, deberá el Contratista dar cuenta al Director de la obra y al Director de Ejecución de la Obra del comienzo de los trabajos al menos con tres días de antelación.

#### 25.3.4. Orden de los trabajos

En general, la determinación del orden de los trabajos es facultad de la contrata, salvo aquellos casos en que, por circunstancias de orden técnico, estime conveniente su variación la Dirección Facultativa.

#### 25.3.5. Facilidades para otros contratistas

De acuerdo con lo que requiera la Dirección Facultativa, el Contratista General deberá dar todas las facilidades razonables para la realización de los trabajos que le sean encomendados a todos los demás Contratistas que intervengan en la obra. Ello sin perjuicio de las compensaciones económicas a que haya lugar entre Contratistas por utilización de medios auxiliares o suministros de energía u otros conceptos.

En caso de litigio, ambos Contratistas estarán a lo que resuelva la Dirección Facultativa.

#### 25.3.6. Ampliación del proyecto por causas imprevistas o de fuerza mayor

Cuando sea preciso por motivo imprevisto o por cualquier accidente, ampliar el Proyecto, no se interrumpirán los trabajos, continuándose según las instrucciones dadas por el Director de la obra en tanto se formula o se tramita el Proyecto Reformado.

El Constructor está obligado a realizar con su personal y sus materiales cuanto la Dirección de las obras disponga para apeos, apuntalamientos, derribos, recalzos o cualquier otra obra de carácter urgente, anticipando de momento este servicio, cuyo importe le será consignado en un presupuesto adicional o abonado directamente, de acuerdo con lo que se convenga.

#### 25.3.7. Prorroga por causa de fuerza mayor

Si por causa de fuerza mayor o independiente de la voluntad del Constructor, éste no pudiese comenzar las obras, o tuviese que suspenderlas, o no le fuera posible terminirlas en los plazos prefijados, se le otorgará una prórroga proporcionada para el cumplimiento de la contrata, previo informe favorable del Director de obra. Para ello, el Constructor expondrá, en escrito dirigido al Director de obra, la causa que impide la ejecución o la marcha de los trabajos y el retraso que por ello se originaría en los plazos acordados, razonando debidamente la prórroga que por dicha causa solicita.

#### 25.3.8. Responsabilidad de la dirección facultativa en el retraso de la obra

El Contratista no podrá excusarse de no haber cumplido los plazos de obras estipulados, alegando como causa la carencia de planos u órdenes de la Dirección Facultativa, a excepción del caso en que habiéndolo solicitado por escrito no se le hubiesen proporcionado.

#### 25.3.9. Condiciones generales de ejecución de los trabajos

Todos los trabajos se ejecutarán con estricta sujeción al Proyecto, a las modificaciones del mismo que previamente hayan sido aprobadas y a las órdenes e instrucciones que bajo su responsabilidad y por escrito entreguen el Director de obra o el Director de Ejecución de la Obra o al Constructor, dentro de las limitaciones presupuestarias y de conformidad con lo especificado en el apartado 2.2.6.

#### 25.3.10. Obras ocultas

De todos los trabajos y unidades de obra que hayan de quedar ocultos a la terminación del edificio, se levantarán los planos precisos para que queden perfectamente definidos; estos documentos se extenderán por triplicado, entregándose: uno, al Director de obra; otro, al Director de Ejecución de la Obra; y, el tercero, al Contratista, firmados todos ellos por los tres. Dichos planos, que deberán ir suficientemente acotados, se considerarán documentos indispensables e irrecusables para efectuar las mediciones.

#### 25.3.11. Trabajos defectuosos

El Constructor debe emplear los materiales que cumplan las condiciones exigidas en las "Condiciones generales y particulares de índole técnica" del Pliego de Condiciones y realizará todos y cada uno de los trabajos contratados de acuerdo con lo especificado también en dicho documento.

Por ello, y hasta que tenga lugar la recepción definitiva del edificio, es responsable de la ejecución de los trabajos que ha contratado y de las faltas y defectos que en éstos puedan existir por su mala ejecución o por la deficiente calidad de los materiales empleados o aparatos colocados, sin que le exonere de responsabilidad el control que compete al Director de Ejecución de la Obra, ni tampoco el hecho de que estos trabajos hayan sido valorados en las certificaciones parciales de obra, que siempre se entenderán extendidas y abonadas a buena cuenta.

Como consecuencia de lo anteriormente expresado, cuando el Director de Ejecución de la Obra advierta vicios o defectos en los trabajos ejecutados, o que los materiales empleados o los aparatos colocados no reúnen las condiciones preceptuadas, ya sea en el curso de la ejecución de los trabajos, o finalizados éstos, y antes de verificarse la recepción definitiva de la obra, podrá disponer que las partes defectuosas sean demolidas y reconstruidas de acuerdo con lo contratado, y todo ello a expensas de la contrata. Si ésta no estimase justa la decisión y se

negase a la demolición y reconstrucción ordenadas, se planteará la cuestión ante el Director de obra de la obra, quien resolverá.

#### 25.3.12. Vicios ocultos

Si el Director de Ejecución de la Obra tuviese fundadas razones para creer en la existencia de vicios ocultos de construcción en las obras ejecutadas, ordenará efectuar en cualquier tiempo, y antes de la recepción definitiva, los ensayos, destructivos o no, que crea necesarios para reconocer los trabajos que suponga defectuosos, dando cuenta de la circunstancia al Director de obra.

Los gastos que se ocasionen serán de cuenta del Constructor, siempre que los vicios existan realmente, en caso contrario serán a cargo de la Propiedad.

#### 25.3.13. De los materiales y de los aparatos. Su procedencia

El Constructor tiene libertad de proveerse de los materiales y aparatos de 'todas clases en los puntos que le parezca conveniente, excepto en los casos en que el Pliego Particular de Condiciones Técnicas preceptúe una procedencia determinada. Obligatoriamente, y antes de proceder a su empleo o acopio, el Constructor deberá presentar al Director de Ejecución de la Obra una lista completa de los materiales y aparatos que vaya a utilizar en la que se especifiquen todas las indicaciones sobre marcas, calidades, procedencia e idoneidad de cada uno de ellos.

#### 25.3.14. Presentación de muestras

A petición del Director de obra, el Constructor le presentará las muestras de los materiales siempre con la antelación prevista en el Calendario de la Obra.

#### 25.3.15. Materiales no utilizables

El Constructor, a su costa, transportará y colocará, agrupándolos ordenadamente y en el lugar adecuado, los materiales procedentes de las excavaciones, derribos, etc., que no sean utilizables en la obra.

Se retirarán de ésta o se llevarán al vertedero, cuando así estuviese establecido en el Pliego de Condiciones particulares vigente en la obra.

Si no se hubiese preceptuado nada sobre el particular, se retirarán de ella cuando así lo ordene el Director de Ejecución de la Obra, pero acordando previamente con el Constructor su justa tasación, teniendo en cuenta el valor de dichos materiales y los gastos de su transporte.

#### 25.3.16. Materiales y aparatos defectuosos

Cuando los materiales, elementos de instalaciones o aparatos no fuesen de la calidad prescrita en este Pliego, o no tuvieran la preparación en él exigida o, en fin, cuando la falta de prescripciones formales de aquél, se reconociera o demostrara que no eran adecuados para su objeto, el Director de la obra a instancias del Director de Ejecución de la Obra, dará orden al Constructor de sustituirlos por otros que satisfagan las condiciones o llenen el objeto a que se destinen.

Si a los quince (15) días de recibir el Constructor orden de que retire los materiales que no estén en condiciones, no ha sido cumplida, podrá hacerlo la Propiedad cargando los gastos a la contrata.

Si los materiales, elementos de instalaciones o aparatos fueran defectuosos, pero aceptables a juicio del Director de la obra, se recibirán, pero con la rebaja del precio que aquél determine, a no ser que el Constructor prefiera sustituirlos por otros en condiciones.

#### 25.3.17. Gastos ocasionados por pruebas y ensayos

Todos los gastos originados por las pruebas y ensayos de materiales o elementos que intervengan en la ejecución de las obras, serán de cuenta de la contrata.

Todo ensayo que no haya resultado satisfactorio o que no ofrezca las suficientes garantías podrá comenzarse de nuevo a cargo del mismo.

#### 25.3.18. Limpieza de las obras

Es obligación del Constructor mantener limpias las obras y sus alrededores, tanto de escombros como de materiales sobrantes, hacer desaparecer las instalaciones provisionales que no sean necesarias, así como adoptar las medidas y ejecutar todos los trabajos que sean necesarios para que la obra ofrezca buen aspecto.

#### 25.3.19. Obras sin prescripciones

En la ejecución de trabajos que entran en la construcción de las obras y para los cuales no existan prescripciones consignadas explícitamente en este Pliego ni en la restante documentación del Proyecto, el Constructor se atenderá, en primer término, a las instrucciones que dicte la Dirección Facultativa de las obras y, en segundo lugar, a las reglas y prácticas de la buena construcción.

### 25.4. Epígrafe 4: las recepciones de edificios y obras anejas

#### 25.4.1. De las recepciones provisionales

Treinta días antes de dar fin a las obras, comunicará el Director de obra a la Propiedad la proximidad de su terminación a fin de convenir la fecha para el acto de recepción provisional.

Esta se realizará con la intervención de la Propiedad, del Constructor, del Director de obra y del Director de Ejecución de la Obra. Se convocará también a los restantes técnicos que, en su caso, hubiesen intervenido en la dirección con función propia en aspectos parciales o unidades especializadas.

Practicado un detenido reconocimiento de las obras, se extenderá un acta con tantos ejemplares como intervinientes y firmados por todos ellos. Desde esta fecha empezará a correr el plazo de garantía, si las obras se hallasen en estado de ser admitidas. Seguidamente, los Técnicos de la Dirección Facultativa extenderán el correspondiente Certificado de final de obra.

Cuando las obras no se hallen en estado de ser recibidas, se hará constar en el acta y se darán al Constructor las oportunas instrucciones para remediar los defectos observados, fijando un plazo para subsanarlos, expirado el cual, se efectuará un nuevo reconocimiento a fin de proceder a la recepción provisional de la obra.

Si el Constructor no hubiese cumplido, podrá declararse resuelto el contrato con pérdida de la fianza.

#### 25.4.2. Documentación final de la obra

El Director de obra facilitará a la Propiedad la documentación final de las obras, con las especificaciones y contenido dispuestos por la legislación vigente y, si se trata de viviendas, con



lo que se establece en los párrafos 2, 3, 4 y 5 del apartado 2 del artículo 4.º del Real Decreto 515/1989 de 21 de abril.

#### 25.4.3. Medición definitiva de los trabajos y liquidación provisional de la obra

Recibidas provisionalmente las obras, se procederá inmediatamente por el Director de Ejecución de la Obra a su medición definitiva, con precisa asistencia del Constructor o de su representante. Se extenderá la oportuna certificación por triplicado que, aprobada por el Director de obra con su firma, servirá para el abono por la Propiedad del saldo resultante salvo la cantidad retenida en concepto de fianza.

#### 25.4.4. Plazo de garantía

El plazo de garantía deberá estipularse en el Pliego de Condiciones Particulares y en cualquier caso nunca deberá ser inferior a nueve meses.

#### 25.4.5. Conservación de las obras recibidas provisionalmente

Los gastos de conservación durante el plazo de garantía comprendido entre las recepciones provisional y definitiva, correrán a cargo del Contratista.

Si el edificio fuese ocupado o utilizado antes de la recepción definitiva, la guarda, limpieza y reparaciones causadas por el uso correrán a cargo del propietario y las reparaciones por vicios de obra o por defectos en las instalaciones, serán a cargo de la contrata.

#### 25.4.6. De la recepción definitiva

La recepción definitiva se verificará después de transcurrido el plazo de garantía en igual forma y con las mismas formalidades que la provisional, a partir de cuya fecha cesará la obligación del Constructor de reparar a su cargo aquellos desperfectos inherentes a la normal conservación de los edificios y quedarán solo subsistentes todas responsabilidades que pudieran alcanzarle por vicios de la construcción.

#### 25.4.7. Prórroga del plazo de garantía

Si al proceder al reconocimiento para la recepción definitiva de la obra, no se encontrase ésta en las condiciones debidas, se aplazará dicha recepción definitiva y el Director de obra marcará al Constructor los plazos y formas en que deberán realizarse las obras necesarias y, de no efectuarse dentro de aquellos, podrá resolverse el contrato con pérdida de la fianza.

#### 25.4.8. De las recepciones de trabajos cuya contrata haya sido rescindida

En el caso de resolución del contrato, el Contratista vendrá obligado a retirar, en el plazo que se fije en el Pliego de Condiciones Particulares, la maquinaria, medios auxiliares, instalaciones, etc., a resolver los subcontratos que tuviese concertados y a dejar la obra en condiciones de ser reanudada por otra empresa. Las obras y trabajos terminados por completo se recibirán provisionalmente con los trámites establecidos en el apartado 2.3.18. Transcurrido el plazo de garantía se recibirán definitivamente según lo dispuesto en los apartados 2.4.3 y 2.4.4 de este Pliego. Para las obras y trabajos no terminados pero aceptables a juicio del Director de obra, se efectuará una sola y definitiva recepción.

## 26. Condiciones económicas

### 26.1. Epígrafe 1: Principio general

Todos los que intervienen en el proceso de construcción tienen derecho a percibir puntualmente las cantidades devengadas por su correcta actuación con arreglo a las condiciones contractualmente establecidas.

La propiedad, el contratista y, en su caso, los técnicos pueden exigirse recíprocamente las garantías adecuadas al cumplimiento puntual de sus obligaciones de pago.

### 26.2. Epígrafe 2

#### 26.2.1. Fianzas

El contratista prestará fianza con arreglo a alguno de los siguientes procedimientos según se estipule:

- a) Depósito previo, en metálico o valores, o aval bancario, por importe entre el 3 por 100 y 10 por 100 del precio total de contrata.
- b) Mediante retención en las certificaciones parciales o pagos a cuenta en igual proporción.

#### 26.2.2. Fianza provisional

En el caso de que la obra se adjudique por subasta pública, el depósito provisional para tomar parte en ella se especificará en el anuncio de la misma y su cuantía será de ordinario, y salvo estipulación distinta en el Pliego de Condiciones particulares vigente en la obra, de un tres por ciento (3 por 100) como mínimo, del total del presupuesto de contrata.

El Contratista a quien se haya adjudicado la ejecución de una obra o servicio para la misma, deberá depositar en el punto y plazo fijados en el anuncio de la subasta o el que se determine en el Pliego de Condiciones particulares del Proyecto, la fianza definitiva que se señale y, en su defecto, su importe será el diez por ciento (10 por 100) de la cantidad por la que se haga la adjudicación de las formas especificadas en el apartado anterior.

El plazo señalado en el párrafo anterior, y salvo condición expresa establecida en el Pliego de Condiciones particulares, no excederá de treinta días naturales a partir de la fecha en que se le comunique la adjudicación, y dentro de él deberá presentar el adjudicatario la carta de pago o recibo que acredite la constitución de la fianza a que se refiere el mismo párrafo.

La falta de cumplimiento de este requisito dará lugar a que se declare nula la adjudicación, y el adjudicatario perderá el depósito provisional que hubiese hecho para tomar parte en la subasta.

#### 26.2.3. Ejecución de trabajos con cargo a la fianza

Si el Contratista se negase a hacer por su cuenta los trabajos precisos para ultimar la obra en las condiciones contratadas. El Director de obra, en nombre y representación del Propietario, los ordenará ejecutar a un tercero, o, podrá realizarlos directamente por administración, abonando su importe con la fianza depositada, sin perjuicio de las acciones a que tenga derecho el Propietario, en el caso de que el importe de la fianza no bastare para cubrir el importe de los gastos efectuados en las unidades de obra que no fuesen de recibo.

#### 26.2.4. De su devolución en general

La fianza retenida será devuelta al Contratista en un plazo que no excederá de treinta (30) días una vez firmada el Acta de Recepción Definitiva de la obra. La propiedad podrá exigir que el Contratista le acredite la liquidación y finiquito de sus deudas causadas por la ejecución de la obra, tales como salarios, suministros, subcontratos.

#### 26.2.5. Devolución de la fianza en el caso de efectuarse recepciones parciales

Si la propiedad, con la conformidad del Director de obra, accediera a hacer recepciones parciales, tendrá derecho el Contratista a que se le devuelva la parte proporcional de la fianza.

### 26.3. Epígrafe 3: de los precios

#### 26.3.1. Composición de los precios unitarios

El cálculo de los precios de las distintas unidades de obra es el resultado de sumar los costes directos, los indirectos, los gastos generales y el beneficio industrial.

Se considerarán costes directos:

a) La mano de obra, con sus pluses y cargas y seguros sociales, que interviene directamente en la ejecución de la unidad de obra.

b) Los materiales, a los precios resultantes a pie de obra, que queden integrados en la unidad de que se trate o que sean necesarios para su ejecución.

c) Los equipos y sistemas técnicos de seguridad e higiene para la prevención y protección de accidentes y enfermedades profesionales.

d) Los gastos de personal, combustible, energía, etc., que tengan lugar por el accionamiento o funcionamiento de la maquinaria e instalaciones utilizadas en la ejecución de la unidad de obra.

e) Los gastos de amortización y conservación de la maquinaria, instalaciones, sistemas y equipos anteriormente citados.

Se considerarán costes indirectos:

Los gastos de instalación de oficinas a pie de obra, comunicaciones edificación de almacenes, talleres, pabellones temporales para obreros, laboratorios, seguros, etc., los del personal técnico y administrativo adscrito exclusivamente a la obra y los imprevistos. Todos estos gastos, se cifrarán en un porcentaje de los costes directos.

Se considerarán gastos generales:

Los gastos generales de empresa, gastos financieros, cargas fiscales y tasas de la Administración, legalmente establecidas. Se cifrarán como un porcentaje de la suma de los costes directos e indirectos (en los contratos de obras de la Administración pública este porcentaje se establece entre un 13 por 100 y un 17 por 100).

#### 26.3.2. Beneficio industrial

El beneficio industrial del Contratista se establece en el 6 por 100 sobre la suma de las anteriores partidas.

### 26.3.3. Precio de ejecución material

Se denominará Precio de Ejecución material el resultado obtenido por la suma de los anteriores conceptos a excepción del Beneficio Industrial.

### 26.3.4. Precio de contrata

El precio de Contrata es la suma de los costes directos, los indirectos, los Gastos Generales y el Beneficio Industrial. El IVA gira sobre esta suma pero no integra el precio.

### 26.3.5. Precios de contrata. Importe de contrata

En el caso de que los trabajos a realizar en un edificio u obra aneja cualesquiera se contratasen a riesgo y ventura, se entiende por Precio de contrata el que importa el coste total de la unidad de obra, es decir, el precio de Ejecución material. Más el tanto por ciento (%) sobre este último precio en concepto de Beneficio Industrial del Contratista. El beneficio se estima normalmente, en 6 por 100, salvo que en las condiciones particulares se establezca otro distinto.

### 26.3.6. Precios contradictorios

Se producirán precios contradictorios sólo cuando la Propiedad por medio del Director de obra decida introducir unidades o cambios de calidad en alguna de las previstas, o cuando sea necesario afrontar alguna circunstancia imprevista.

El Contratista estará obligado a efectuar los cambios.

A falta de acuerdo, el precio se resolverá contradictoriamente entre el Director de obra y el Contratista antes de comenzar la ejecución de los trabajos y en el plazo que determine el Pliego de Condiciones Particulares. Si subsiste la diferencia se acudirá, en primer lugar, al concepto más análogo dentro del cuadro de precios del proyecto, y en segundo lugar al banco de precios de uso más frecuente en la localidad.

Los contradictorios que hubiere se referirán siempre a los precios unitarios de la fecha del contrato.

### 26.3.7. Reclamaciones de aumento de precios por causas diversas

Si el Contratista, antes de la firma del contrato, no hubiese hecho la reclamación u observación oportuna, no podrá bajo ningún pretexto de error u omisión reclamar aumento de los precios fijados en el cuadro correspondiente del presupuesto que sirva de base para la ejecución de las obras (con referencia a Facultativas).

### 26.3.8. Formas tradicionales de medir o de aplicar los precios

En ningún caso podrá alegar el Contratista los usos y costumbres del país respecto de la aplicación de los precios o de la forma de medir las unidades de obras ejecutadas, se estará a lo previsto en primer lugar, al Pliego General de Condiciones Técnicas y en segundo lugar, al Pliego General de Condiciones particulares.

### 26.3.9. De la revisión de los precios contratados

Contratándose las obras a riesgo y ventura, no se admitirá la revisión de los precios en tanto que el incremento no alcance, en la suma de las unidades que falten por realizar de acuerdo con el Calendario, un montante superior al tres por 100 (3 por 100) del importe total del presupuesto de Contrato.

Caso de producirse variaciones en alza superiores a este porcentaje, se efectuará la correspondiente revisión de acuerdo con la fórmula establecida en el Pliego de Condiciones

Particulares, percibiendo el Contratista la diferencia en más que resulte por la variación del IPC superior al 3 por 100.

No habrá revisión de precios de las unidades que puedan quedar fuera de los plazos fijados en el Calendario de la oferta.

#### 26.3.10. Acopio de materiales

El Contratista queda obligado a ejecutar los acopios de materiales o aparatos de obra que la Propiedad ordene por escrito.

Los materiales acopiados, una vez abonados por el Propietario son, de la exclusiva propiedad de éste; de su guarda y conservación será responsable el Contratista.

### 26.4. Epígrafe 4: obras por administración

#### 26.4.1. Administración

Se denominan "Obras por Administración" aquellas en las que las gestiones que se precisan para su realización las lleva directamente el propietario, bien por sí o por un representante suyo o bien por mediación de un constructor.

Las obras por administración se clasifican en las dos modalidades siguientes:

- a) Obras por administración directa.
- b) Obras por administración delegada o indirecta.

#### 26.4.2. Obra por administración directa

Se denominan 'Obras por Administración directa' aquellas en las que el Propietario por sí o por mediación de un representante suyo, que puede ser el propio Director de obra, expresamente autorizado a estos efectos, lleve directamente las gestiones precisas para la ejecución de la obra, adquiriendo los materiales, contratando su transporte a la obra y, en suma interviniendo directamente en todas las operaciones precisas para que el personal y los obreros contratados por él puedan realizarla; en estas obras el constructor, si lo hubiese, o el encargado de su realización, es un mero dependiente del propietario, ya sea como empleado suyo o como autónomo contratado por él, que es quien reúne en sí, por tanto, la doble personalidad de Propietario y Contratista.

#### 26.4.3. Obras por administración delegada o indirecta

Se entiende por 'Obra por Administración delegada o indirecta' la que convienen un Propietario y un Constructor para que éste, por cuenta de aquél y como delegado suyo, realice las gestiones y los trabajos que se precisen y se convengan.

Son, por tanto, características peculiares de las "Obras por Administración delegada o indirecta" las siguientes:

- a) Por parte del Propietario, la obligación de abonar directamente o por mediación del Constructor todos los gastos inherentes a la realización de los trabajos convenidos, reservándose el Propietario la facultad de poder ordenar, bien por sí o por medio del Director de la obra en su representación, el orden y la marcha de los trabajos, la elección de los materiales y aparatos que en los trabajos han de emplearse y, en suma, todos los elementos que crea preciso para regular la realización de los trabajos convenidos.

b) Por parte del Constructor, la obligación de llevar la gestión práctica de los trabajos, aportando sus conocimientos constructivos, los medios auxiliares precisos y, en suma, todo lo que, en armonía con su cometido, se requiera para la ejecución de los trabajos, percibiendo por ello del Propietario un tanto por ciento (%) prefijado sobre el importe total de los gastos efectuados y abonados por el Constructor.

#### 26.4.4. Liquidación de obras por administración

Para la liquidación de los trabajos que se ejecuten por administración delegada o indirecta, regirán las normas que a tales fines se establezcan en las "Condiciones particulares de índole económica" vigentes en la obra; a falta de ellas, las cuentas de administración las presentará el Constructor al Propietario, en relación valorada a la que deberá acompañarse y agrupados en el orden que se expresan los documentos siguientes todos ellos conformados por el Director de Ejecución de la Obra:

- a) Las facturas originales de los materiales adquiridos para los trabajos y el documento adecuado que justifique el depósito o el empleo de dichos materiales en la obra.
- b) Las nóminas de los jornales abonados, ajustadas a lo establecido en la legislación vigente, especificando el número de horas trabajadas en la obra por los operarios de cada oficio y su categoría, acompañando a dichas nóminas una relación numérica de los encargados, capataces, jefes de equipo, oficiales y ayudantes de cada oficio, peones especializados y sueltos, listeros, guardas, etc., que hayan trabajado en la obra durante el plazo de tiempo a que correspondan las nóminas que se presentan.
- c) Las facturas originales de los transportes de materiales puestos en la obra o de retirada de escombros.
- d) Los recibos de licencias, impuestos y demás cargas inherentes a la obra que haya pagado o en cuya gestión haya intervenido el Constructor, ya que su abono es siempre de cuenta del Propietario.

A la suma de todos los gastos inherentes a la propia obra en cuya gestión o pago haya intervenido el Constructor se le aplicará, a falta de convenio especial, un quince por ciento (15 por 100), entendiéndose que en este porcentaje están incluidos los medios auxiliares y los de seguridad preventivos de accidentes, los Gastos Generales que al Constructor originen los trabajos por administración que realiza y el Beneficio Industrial del mismo.

#### 26.4.5. Abono al constructor de las cuentas de administración delegada

Salvo pacto distinto, los abonos al Constructor de las cuentas de Administración delegada los realizará el Propietario mensualmente según las partes de trabajos realizados aprobados por el propietario o por su delegado representante.

Independientemente, el Director de Ejecución de la Obra redactará, con igual periodicidad, la medición de la obra realizada, valorándola con arreglo al presupuesto aprobado. Estas valoraciones no tendrán efectos para los abonos al Constructor salvo que se hubiese pactado lo contrario contractualmente.

#### 26.4.6. Normas para la adquisición de los materiales y aparatos

No obstante, las facultades que en estos trabajos por Administración delegada se reserva el Propietario para la adquisición de los materiales y aparatos, si al Constructor se le autoriza para gestionarlos y adquirirlos, deberá presentar al Propietario, o en su representación

al Director de obra, los precios y las muestras de los materiales y aparatos ofrecidos, necesitando su previa aprobación antes de adquirirlos.

#### 26.4.7. Responsabilidad del constructor en el bajo rendimiento de los obreros

Si de los partes mensuales de obra ejecutada que preceptivamente debe presentar el Constructor al Director de obra, éste advirtiese que los rendimientos de la mano de obra, en todas o en algunas de las unidades de obra ejecutada, fuesen notoriamente inferiores a los rendimientos normales generalmente admitidos para unidades de obra iguales o similares, se lo notificará por escrito al Constructor, con el fin de que éste haga las gestiones precisas para aumentar la producción en la cuantía señalada por el Director de la obra.

Si hecha esta notificación al Constructor, en los meses sucesivos, los rendimientos no llegasen a los normales, el Propietario queda facultado para resarcirse de la diferencia, rebajando su importe del quince por ciento (15 por 100) que por los conceptos antes expresados correspondería abonarle al Constructor en las liquidaciones quincenales que preceptivamente deben efectuársele. En caso de no llegar ambas partes a un acuerdo en cuanto a los rendimientos de la mano de obra, se someterá el caso a arbitraje.

#### 26.4.8. Responsabilidades del constructor

En los trabajos de "Obras por Administración delegada", el Constructor solo será responsable de los efectos constructivos que pudieran tener los trabajos o unidades por él ejecutadas y también de los accidentes o perjuicios que pudieran sobrevenir a los obreros o a terceras personas por no haber tomado las medidas precisas que en las disposiciones legales vigentes se establecen. En cambio, y salvo lo expresado en el artículo 63 precedente, no será responsable del mal resultado que pudiesen dar los materiales y aparatos elegidos con arreglo a las normas establecidas en dicho artículo. En virtud de lo anteriormente consignado, el Constructor está obligado a reparar por su cuenta los trabajos defectuosos y a responder también de los accidentes o perjuicios expresados en el párrafo anterior.

### 26.5. Epígrafe 5: de la valoración y abono de los trabajos

#### 26.5.1. Formas varias de abono de las obras

Según la modalidad elegida para la contratación de las obras y salvo que en el Pliego Particular de Condiciones económicas se preceptúe otra cosa, el abono de los trabajos se efectuará así:

1º. Tipo fijo o tanto alzado total. Se abonará la cifra previamente fijada como base de la adjudicación, disminuida en su caso en el importe de la baja efectuada por el adjudicatario.

2º. Tipo fijo o tanto alzado por unidad de obra, cuyo precio invariable se haya fijado de antemano, pudiendo variar solamente el número de unidades ejecutadas. Previa medición y aplicando al total de las diversas unidades de obra ejecutadas, del precio invariable estipulado de antemano para cada una de ellas, se abonará al Contratista el importe de las comprendidas en los trabajos ejecutados y ultimados con arreglo y sujeción a los documentos que constituyen el Proyecto, los que servirán de base para la medición y valoración de las diversas unidades.

3º. Tanto variable por unidad de obra, según las condiciones en que se realice y los materiales diversos empleados en su ejecución de acuerdo con las órdenes del Director de obra. Se abonará al Contratista en idénticas condiciones al caso anterior.

4º. Por listas de jornales y recibos de materiales, autorizados en la forma que el presente "Pliego General de Condiciones económicas" determina.

5º. Por horas de trabajo, ejecutado en las condiciones determinadas en el contrato

#### 26.5.2. Relaciones valoradas y certificaciones

En cada una de las épocas o fechas que se fijen en el contrato o en los "Pliegos de Condiciones Particulares" que rijan en la obra, formará el Contratista una relación valorada de las obras ejecutadas durante los plazos previstos, según la medición que habrá practicado el Director de Ejecución de la Obra.

Lo ejecutado por el Contratista en las condiciones preestablecidas, se valorará aplicando al resultado de la medición general, cúbica, superficial, lineal, ponderada o numeral correspondiente para cada unidad de obra, los precios señalados en el presupuesto para cada una de ellas, teniendo presente además lo establecido en el presente "Pliego General de Condiciones económicas" respecto a mejoras o sustituciones de material y a las obras accesorias y especiales, etc.

Al Contratista, que podrá presenciar las mediciones necesarias para extender dicha relación se le facilitarán por el Director de Ejecución de la Obra los datos correspondientes de la relación valorada, acompañándolos de una nota de envío, al objeto de que, dentro del plazo de diez (10) días a partir de la fecha del recibo de dicha nota, pueda el Contratista examinarlos y devolverlos firmados con su conformidad o hacer, en caso contrario, las observaciones o reclamaciones que considere oportunas. Dentro de los diez (10) días siguientes a su recibo, el Director de obra aceptará o rechazará las reclamaciones del Contratista si las hubiere, dando cuenta al mismo de su resolución, pudiendo éste, en el segundo caso, acudir ante el Propietario contra la resolución del Director de obra en la forma referida en los "Pliegos Generales de Condiciones Facultativas y Legales".

Tomando como base la relación valorada indicada en el párrafo anterior, expedirá el Director de obra la certificación de las obras ejecutadas.

De su importe se deducirá el tanto por ciento que para la constitución de la fianza se haya preestablecido.

El material acopiado a pie de obra por indicación expresa y por escrito del Propietario, podrá certificarse hasta el noventa por ciento (90 por 100) de su importe, a los precios que figuren en los documentos del Proyecto, sin afectarlos del tanto por ciento de contrata.

Las certificaciones se remitirán al Propietario, dentro del mes siguiente al período a que se refieren, y tendrán el carácter de documento y entregas a buena cuenta, sujetas a las rectificaciones y variaciones que se deriven de la liquidación final, no suponiendo tampoco dichas certificaciones aprobación ni recepción de las obras que comprenden.

Las relaciones valoradas contendrán solamente la obra ejecutada en el plazo a que la valoración se refiere. En el caso de que el Director de obra lo exigiera, las certificaciones se extenderán al origen.

#### 26.5.3. Mejoras de obras libremente ejecutadas

Cuando el Contratista, incluso con autorización del Director de obra, emplease materiales de más esmerada preparación o de mayor tamaño que el señalado en el Proyecto o sustituyese una clase de fábrica con otra que tuviese asignado mayor precio o ejecutase con



mayores dimensiones cualquiera parte de la obra, o, en general, introdujese en ésta y sin pedírsela, cualquiera otra modificación que sea beneficiosa a juicio del Director de obra, no tendrá derecho, sin embargo, más que al abono de lo que pudiera corresponder en el caso de que hubiese construido la obra con estricta sujeción a la proyectada y contratada o adjudicada.

#### 26.5.4. Abono de trabajos presupuestados con partida alzada

Salvo lo preceptuado en el "Pliego de Condiciones Particulares de índole económica", vigente en la obra, el abono de los trabajos presupuestados en partida alzada, se efectuará de acuerdo con el procedimiento que corresponda entre los que a continuación se expresan:

- a) Si existen precios contratados para unidades de obras iguales, las presupuestadas mediante partida alzada, se abonarán previa medición y aplicación del precio establecido.
- b) Si existen precios contratados para unidades de obra similares, se establecerán precios contradictorios para las unidades con partida alzada, deducidos de los similares contratados.
- c) Si no existen precios contratados para unidades de obra iguales o similares, la partida alzada se abonará íntegramente al Contratista, salvo el caso de que en el Presupuesto de la obra se exprese que el importe de dicha partida debe justificarse, en cuyo caso el Director de obra indicará al Contratista y con anterioridad a su ejecución, el procedimiento que de seguirse para llevar dicha cuenta, que en realidad será de Administración, valorándose los materiales y jornales a los precios que figuren en el Presupuesto aprobado o, en su defecto, a los que con anterioridad a la ejecución convengan las dos partes, incrementándose su importe total con el porcentaje que se fije en el Pliego de Condiciones Particulares en concepto de Gastos Generales y Beneficio Industrial del Contratista.

#### 26.5.5. Abono de agotamientos y otros trabajos especiales no contratados

Cuando fuese preciso efectuar agotamientos, inyecciones y otra clase de trabajos de cualquiera índole especial y ordinaria, que por no estar contratados no sean de cuenta del Contratista, y si no se contratasen con tercera persona, tendrá el Contratista la obligación de realizarlos y de satisfacer los gastos de toda clase que ocasionen, los cuales le serán abonados por el Propietario por separado de la contrata.

Además de reintegrar mensualmente estos gastos al Contratista, se le abonará juntamente con ellos el tanto por ciento del importe total que, en su caso, se especifique en el Pliego de Condiciones Particulares.

#### 26.5.6. Pagos

Los pagos se efectuarán por el Propietario en los plazos previamente establecidos, y su importe corresponderá precisamente al de las certificaciones de obra conformadas por el Director de obra, en virtud de las cuales se verifican aquéllos.

#### 26.5.7. Abono de trabajos ejecutados durante el plazo de garantía

Efectuada la recepción provisional y si durante el plazo de garantía se hubieran ejecutado trabajos cualesquiera, para su abono se procederá así:

- 1º. Si los trabajos que se realicen estuvieran especificados en el Proyecto, y sin causa justificada no se hubieran realizado por el Contratista a su debido tiempo; y el Director

de obra exigiera su realización durante el plazo de garantía, serán valorados a los precios que figuren en el Presupuesto y abonados de acuerdo con lo establecido en los "Pliegos Particulares" o en su defecto en los Generales, en el caso de que dichos precios fuesen inferiores a los que rijan en la época de su realización; en caso contrario, se aplicarán estos últimos.

2º. Si se han ejecutado trabajos precisos para la reparación de desperfectos ocasionados por el uso del edificio, por haber sido éste utilizado durante dicho plazo por el Propietario, se valorarán y abonarán a los precios del día, previamente acordados.

3º. Si se han ejecutado trabajos para la reparación de desperfectos ocasionados por deficiencia de la construcción

## 26.6. Epígrafe 6: de las indemnizaciones mutuas

### 26.6.1. Importe de la indemnización por retraso no justificado en el plazo de terminación de las obras

La indemnización por retraso en la terminación se establecerá en un tanto por mil (0/00) del importe total de los trabajos contratados, por cada día natural de retraso, contados a partir del día de terminación fijado en el Calendario de obra.

Las sumas resultantes se descontarán y retendrán con cargo a la fianza.

### 26.6.2. Demora de los pagos

Si el propietario no efectuase el pago de las obras ejecutadas, dentro del mes siguiente al que corresponde el plazo convenido el Contratista tendrá además el derecho de percibir el abono de un cuatro y medio por ciento (4,5 por 100) anual, en concepto de intereses de demora, durante el espacio de tiempo del retraso y sobre el importe de la mencionada certificación. Si aún transcurrieran dos meses a partir del término de dicho plazo de un mes sin realizarse dicho pago, tendrá derecho el Contratista a la resolución del contrato, procediéndose a la liquidación correspondiente de las obras ejecutadas y de los materiales acopiados, siempre que éstos reúnan las condiciones preestablecidas y que su cantidad no exceda de la necesaria para la terminación de la obra contratada o adjudicada.

No obstante, lo anteriormente expuesto, se rechazará toda solicitud de resolución del contrato fundada en dicha demora de pagos, cuando el Contratista no justifique que en la fecha de dicha solicitud ha invertido en obra o en materiales acopiados admisibles la parte de presupuesto correspondiente al plazo de ejecución que tenga señalado en el contrato.

## 26.7. Epígrafe 7: varios

### 26.7.1. Mejoras y aumentos de obra. Casos contrarios

No se admitirán mejoras de obra, más que en el caso en que el Director de obra haya ordenado por escrito la ejecución de trabajos nuevos o que mejoren la calidad de los contratados, así como la de los materiales y aparatos previstos en el contrato. Tampoco se admitirán aumentos de obra en las unidades contratadas, salvo caso de error en las mediciones del Proyecto a menos que el Director de obra ordene, también por escrito, la ampliación de las contratadas.

En todos estos casos será condición indispensable que ambas partes contratantes, antes de su ejecución o empleo, convengan por escrito los importes totales de las unidades mejoradas,

los precios de los nuevos materiales o aparatos ordenados emplear y los aumentos que todas estas mejoras o aumentos de obra supongan sobre el importe de las unidades contratadas.

Se seguirán el mismo criterio y procedimiento, cuando el Director de obra introduzca innovaciones que supongan una reducción apreciable en los importes de las unidades de obra contratadas.

#### 26.7.2. Unidades de obra defectuosas pero aceptables

Cuando por cualquier causa fuera menester valorar obra defectuosa, pero aceptable a juicio del Director de obra de las obras, éste determinará el precio o partida de abono después de oír al Contratista, el cual deberá conformarse con dicha resolución, salvo el caso en que, estando dentro del plazo de ejecución, prefiera demoler la obra y rehacerla con arreglo a condiciones, sin exceder de dicho plazo.

#### 26.7.3. Seguro de las obras

El Contratista estará obligado a asegurar la obra contratada durante todo el tiempo que dure su ejecución hasta la recepción definitiva; la cuantía del seguro coincidirá en cada momento con el valor que tengan por contrata los objetos asegurados. El importe abonado por la Sociedad Aseguradora, en el caso de siniestro, se ingresará en cuenta a nombre del Propietario, para que con cargo a ella se abone la obra que se construya, y a medida que ésta se vaya realizando. El reintegro de dicha cantidad al Contratista se efectuará por certificaciones, como el resto de los trabajos de la construcción. En ningún caso, salvo conformidad expresa del Contratista, hecho en documento público, el Propietario podrá disponer de dicho importe para menesteres distintos del de reconstrucción de la parte siniestrada; la infracción de lo anteriormente expuesto será motivo suficiente para que el Contratista pueda resolver el contrato, con devolución de fianza, abono completo de gastos, materiales acopiados, etc., y una indemnización equivalente al importe de los daños causados al Contratista por el siniestro y que no se le hubiesen abonado, pero solo en proporción equivalente a lo que suponga la indemnización abonada por la Compañía Aseguradora, respecto al importe de los daños causados por el siniestro, que serán tasados a estos efectos por el Director de obra.

En las obras de reforma o reparación, se fijarán previamente la porción de edificio que debe ser asegurada y su cuantía, y si nada se prevé, se entenderá que el seguro ha de comprender toda la parte del edificio afectada por la obra.

Los riesgos asegurados y las condiciones que figuren en la póliza o pólizas de Seguros, los pondrá el Contratista, antes de contratarlos, en conocimiento del Propietario, al objeto de recabar de éste su previa conformidad o reparos.

#### 26.7.4. Conservación de la obra

Si el Contratista, siendo su obligación, no atiende a la conservación de la obra durante el plazo de garantía, en el caso de que el edificio no haya sido ocupado por el Propietario antes de la recepción definitiva, el Director de obra, en representación del Propietario, podrá disponer todo lo que sea preciso para que se atienda a la guardería, limpieza y todo lo que fuese menester para su buena conservación, abonándose todo ello por cuenta de la contrata.

Al abandonar el Contratista el edificio, tanto por buena terminación de las obras, como en el caso de resolución del contrato, está obligado a dejarlo desocupado y limpio en el plazo que el Director de obra fije.

Después de la recepción provisional del edificio y en el caso de que la conservación del edificio corra cargo del Contratista, no deberá haber en él más herramientas, útiles, materiales, muebles, etc., que los indispensables para su guardería y limpieza y para los trabajos que fuese preciso ejecutar.

En todo caso, ocupado o no el edificio, está obligado el Contratista a revisar y reparar la obra, durante el plazo expresado, procediendo en la forma prevista en el presente "Pliego de Condiciones Económicas".

#### 26.7.5. Uso por el contratista de edificio o bienes del propietario

Cuando durante la ejecución de las obras ocupe el Contratista, con la necesaria y previa autorización del Propietario, edificios o haga uso de materiales o útiles pertenecientes al mismo, tendrá obligación de repararlos y conservarlos para hacer entrega de ellos a la terminación del contrato, en perfecto estado de conservación, reponiendo los que se hubiesen inutilizado, sin derecho a indemnización por esta reposición ni por las mejoras hechas en los edificios, propiedades o materiales que haya utilizado.

En el caso de que al terminar el contrato y hacer entrega del material, propiedades o edificaciones, no hubiese cumplido el Contratista con lo previsto en el párrafo anterior, lo realizará el Propietario a costa de aquél y con cargo a la fianza.

## 27. Condiciones técnicas particulares

### 27.1. Epígrafe 1: condiciones generales

#### 27.1.1. Calidad de los materiales

Todos los materiales a emplear en la presente obra serán de primera calidad y reunirán las condiciones exigidas vigentes referentes a materiales y prototipos de construcción.

#### 27.1.2. Pruebas y ensayos de materiales

Todos los materiales a que este capítulo se refiere podrán ser sometidos a los análisis o pruebas, por cuenta de la contrata, que se crean necesarios para acreditar su calidad. Cualquier otro que haya sido especificado y sea necesario emplear deberá ser aprobado por la Dirección de las obras, bien entendido que será rechazado el que no reúna las condiciones exigidas por la buena práctica de la construcción.

#### 27.1.3. Materiales no consignados en este proyecto

Los materiales no consignados en proyecto que dieran lugar a precios contradictorios reunirán las condiciones de bondad necesarias, a juicio de la Dirección Facultativa no teniendo el contratista derecho a reclamación alguna por estas condiciones exigidas.

#### 27.1.4. Condiciones generales de ejecución

Todos los trabajos, incluidos en el presente proyecto se ejecutarán esmeradamente, con arreglo a las buenas prácticas de la construcción, de acuerdo con las condiciones establecidas en el Pliego de Condiciones de la Edificación de la Dirección General de Arquitectura de 1960, y cumpliendo estrictamente las instrucciones recibidas por la Dirección Facultativa, no pudiendo por tanto servir de pretexto al contratista la baja subasta, para variar esa esmerada ejecución ni la primerísima calidad de las instalaciones proyectadas en cuanto a sus materiales y mano de obra, ni pretender proyectos adicionales.

### 27.2. Epígrafe 2: condiciones que han de cumplir los materiales

#### 27.2.1. Materiales para hormigones y morteros

##### 27.2.1.1. Áridos

Generalidades: La naturaleza de los áridos y su preparación serán tales que permitan garantizar la adecuada resistencia y durabilidad del hormigón, así como las restantes características que se exijan a éste en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares.

Como áridos para la fabricación de hormigones pueden emplearse arenas y gravas existentes en yacimientos naturales, machacados u otros productos cuyo empleo se encuentre sancionado por la práctica o resulte aconsejable como consecuencia de estudios realizados en un laboratorio oficial. En cualquier caso, cumplirá las condiciones de la EHE.

Cuando no se tengan antecedentes sobre la utilización de los áridos disponibles, o se vayan a emplear para otras aplicaciones distintas de las ya sancionadas por la práctica, se realizarán ensayos de identificación mediante análisis mineralógicos, petrográficos, físicos o químicos, según convengan a cada caso.

En el caso de utilizar escorias siderúrgicas como árido, se comprobará previamente que son estables, es decir que no contienen silicatos inestables ni compuestos ferrosos. Esta comprobación se efectuará con arreglo al método de ensayo UNE 7.243.

Se prohíbe el empleo de áridos que contengan sulfuros oxidables.

Se entiende por "arena" o "árido fino" el árido fracción del mismo que pasa por un tamiz de 5 mm de luz de malla (tamiz 5 UNE 7050); por "grava" o "árido grueso" el que resulta detenido por dicho tamiz; y por "árido total" (o simplemente "árido" cuando no hay lugar a confusiones), aquel que, de por sí o por mezcla, posee las proporciones de arena y grava adecuadas para fabricar el hormigón necesario en el caso particular que se considere.

#### 27.2.1.2. Limitación de tamaño

Cumplirá las condiciones señaladas en la instrucción EHE.

#### 27.2.1.3. Agua para amasado

Habrà de cumplir las siguientes prescripciones:

- Acidez tal que el pH sea mayor de 5. (UNE 7.234). ☐ Sustancias solubles, menos de quince gramos por litro (15 g/l), según NORMA UNE 7.130.
- Sulfatos expresados en SO<sub>4</sub>, menos de un gramo por litro (1 g A) según ensayo de NORMA 7.131.
- Ion cloro para hormigón con armaduras, menos de 6 g/l, según NORMA UNE 71.178.
- Grasas o aceites de cualquier clase, menos de quince gramos por litro (15 g/l). (UNE 7.235).
- Carencia absoluta de azúcares o carbohidratos según ensayo de NORMA UNE 7.132.
- Demàs prescripciones de la EHE. Aditivos Se definen como aditivos a emplear en hormigones y morteros aquellos productos sólidos o líquidos, excepto cemento, áridos o agua que mezclados durante el amasado modifican o mejoran las características del mortero u hormigón en especial en lo referente al fraguado, endurecimiento, plasticidad e incluso de aire. Se establecen los siguientes límites:
- Si se emplea cloruro cálcico como acelerador, su dosificación será igual o menor del dos por ciento (2%) en peso del cemento y si se trata de hormigonar con temperaturas muy bajas, del tres y medio por ciento (3.5%) del peso del cemento.
- Si se usan aireantes para hormigones normales su proporción será tal que la disminución de residentes a compresión producida por la inclusión del aireante sea inferior al veinte por ciento (20%). En ningún caso la proporción de aireante será mayor del cuatro por ciento (4%) del peso en cemento.
- En caso de empleo de colorantes, la proporción será inferior al diez por ciento del peso del cemento. No se emplearán colorantes orgánicos.
- Cualquier otro que se derive de la aplicación de la EHE.

#### 27.2.1.4. Cemento

Se entiende como tal, un aglomerante, hidráulico que responda a alguna de las definiciones del pliego de prescripciones técnicas generales para la recepción de cementos R.C. 97. B.O.E. 13.06.97.

Podrá almacenarse en sacos o a granel. En el primer caso, el almacén protegerá contra la intemperie y la humedad, tanto del suelo como de las paredes. Si se almacenara a granel, no podrán mezclarse en el mismo sitio cementos de distintas calidades y procedencias.

Se exigirá al contratista la realización de ensayos que demuestren de modo satisfactorio que los cementos cumplen las condiciones exigidas. Las partidas de cemento defectuoso serán retiradas de la obra en el plazo máximo de 8 días. Los métodos de ensayo serán los detallados en el citado "Pliego General de Condiciones para la Recepción de Conglomerantes Hidráulicos." Se realizarán en laboratorios homologados.

Se tendrá en cuenta prioritariamente las determinaciones de la Instrucción EHE.

#### 27.2.2. Acero

##### 27.2.2.1. Acero de alta adherencia en redondos para armaduras

Se aceptarán aceros de alta adherencia que lleven el sello de conformidad CIETSID homologado por el M.O.P.U.

Estos aceros vendrán marcados de fábrica con señales indelebles para evitar confusiones en su empleo. No presentarán ovalaciones, grietas, sopladuras, ni mermas de sección superiores al cinco por ciento (5%).

El módulo de elasticidad será igual o mayor de dos millones cien mil kilogramos por centímetro cuadrado ( $2.100.000 \text{ kg/cm}^2$ ). Entendiendo por límite elástico la mínima tensión capaz de producir una deformación permanente de dos décimas por ciento (0.2%). Se prevé el acero de límite elástico  $4.200 \text{ kg/cm}^2$ , cuya carga de rotura no será inferior a cinco mil doscientos cincuenta ( $5.250 \text{ kg/cm}^2$ ) Esta tensión de rotura es el valor de la ordenada máxima del diagrama tensión deformación.

Se tendrá en cuenta prioritariamente las determinaciones de la Instrucción EHE. Acero laminado.

##### 27.2.2.2. Acero A-42B

Los perfiles vendrán con su correspondiente identificación de fábrica, con señales indelebles para evitar confusiones. No presentarán grietas, ovalizaciones, sopladuras ni mermas de sección superiores al cinco por ciento (5%).

#### 27.2.3. Materiales auxiliares de hormigón

##### 27.2.3.1. Productos para curado de hormigones

Se definen como productos para curado de hormigones hidráulicos los que, aplicados en forma de pintura pulverizada, depositan una película impermeable sobre la superficie del hormigón para impedir la pérdida de agua por evaporización.

El color de la capa protectora resultante será claro, preferiblemente blanco, para evitar la absorción del calor solar. Esta capa deberá ser capaz de permanecer intacta durante siete días al menos después de una aplicación.

#### 27.2.4. Desencofrantes

Se definen como tales a los productos que, aplicados en forma de pintura a los encofrados, disminuyen la adherencia entre éstos y el hormigón, facilitando la labor de desmolde. El empleo de éstos productos deberá ser expresamente autorizado sin cuyo requisito no se podrán utilizar.

#### 27.2.5. Encofrados y cimbras

##### 27.2.5.1. Encofrados en muros

Podrán ser de madera o metálicos, pero tendrán la suficiente rigidez, latiguillos y puntales para que la deformación máxima debida al empuje del hormigón fresco sea inferior a un centímetro respecto a la superficie teórica de acabado. Para medir estas deformaciones se aplicará sobre la superficie desencofrada una regla metálica de 2 m. de longitud, recta si se trata de una superficie plana, o curva si ésta es reglada.

Los encofrados para hormigón visto necesariamente habrán de ser de madera.

#### 27.2.5.2. Encofrado de pilares, vigas y arcos

Podrán ser de madera o metálicos pero cumplirán la condición de que la deformación máxima de una arista encofrada respecto a la teórica, sea menor o igual de un centímetro de la longitud teórica. Igualmente deberá tener el confrontado lo suficientemente rígido para soportar los efectos dinámicos del vibrado del hormigón de forma que el máximo movimiento local producido por esta causa sea de cinco milímetros.

#### 27.2.6. Aglomerantes excluido cemento

##### 27.2.6.1. Cal hidráulica

Cumplirá las siguientes condiciones:

Peso específico comprendido entre dos enteros y cinco décimas y dos enteros y ocho décimas.

- Densidad aparente superior a ocho décimas.
- Pérdida de peso por calcinación al rojo blanco menor del doce por ciento. 7 Fraguado entre nueve y treinta horas.
- Residuo de tamiz cuatro mil novecientas mallas menor del seis por ciento. 7 Resistencia a la tracción de pasta pura a los siete días superior a ocho kilogramos por centímetro cuadrado. Curado de la probeta un día al aire y el resto en agua.
- Resistencia a la tracción del mortero normal a los siete días superior a cuatro kilogramos por centímetro cuadrado. Curado por la probeta un día al aire y el resto en agua.
- Resistencia a la tracción de pasta pura a los veintiocho días superior a ocho kilogramos por centímetro cuadrado y también superior en dos kilogramos por centímetro cuadrado a la alcanzada al séptimo día.

##### 27.2.6.2. Yeso negro

Deberá cumplir las siguientes condiciones:

- El contenido en sulfato cálcico semihidratado ( $\text{SO}_4\text{Ca}/2\text{H}_2\text{O}$ ) será como mínimo del cincuenta por ciento en peso.
- El fraguado no comenzará antes de los dos minutos y no terminará después de los treinta minutos.
- En tamiz 0.2 UNE 7050 no será mayor del veinte por ciento.
- En tamiz 0.08 UNE 7050 no será mayor del cincuenta por ciento.
- Las probetas prismáticas 4-4-16 cm. de pasta normal ensayadas a flexión con una separación entre apoyos de 10.67 cm resistirán una carga central de ciento veinte kilogramos como mínimo.
- La resistencia a compresión determinada sobre medias probetas procedentes del ensayo a flexión, será como mínimo setenta y cinco kilogramos por centímetros cuadrado. La toma de muestras se efectuará como mínimo en un tres por ciento de los casos mezclando el yeso procedente de los diversos hasta obtener por cuarteo una muestra de 10 kg como mínimo una muestra. Los ensayos se efectuarán según las normas UNE 7064 y 7065.



### 27.2.7. Materiales de cubierta

#### 27.2.7.1. Tejas

Las tejas de cemento que se emplearán en la obra, se obtendrán a partir de superficies cónicas o cilíndricas que permitan un solape de 70 a 150 mm o bien estarán dotadas de una parte plana con resaltes o dientes de apoyo para facilitar el encaje de las piezas. Deberán tener la aprobación del Ministerio de Industria, la autorización de uso del Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo o Documento de Idoneidad Técnica de I.E.T.C.C. cumpliendo todas sus condiciones.

#### 27.2.7.2. Impermeabilizantes

Podrán ser bituminosos ajustándose a uno de los sistemas aceptados por la norma NBE-QB-90 cuyas condiciones cumplirá, o, no bituminosos o bituminosos modificados teniendo concedido Documento de Idoneidad Técnica de I.E.T.C.C. cumpliendo todas sus condiciones.

### 27.2.8. Plomo y cinc

Salvo indicación de lo contrario la ley mínima del plomo será de noventa y nueve por ciento.

Será de la mejor calidad, de primera fusión, dulce, flexible, laminado teniendo las planchas espesor uniforme, fractura brillante y cristalina, desechándose las que tengan picaduras o presenten hojas, aberturas o abolladuras.

El plomo que se emplee en tuberías será compacto, maleable, dúctil y exento de sustancias extrañas, y, en general, de todo defecto que permita la filtración y escape del líquido. Los diámetros y espesores de los tubos serán los indicados en el estado de mediciones o en su defecto, los que indique la Dirección Facultativa.

### 27.2.9. Materiales para fábrica y forjados

#### 27.2.9.1. Fábrica de ladrillo

Los ladrillos serán de primera calidad según queda definido en la Norma NBE-RL /88 Las dimensiones de los ladrillos se medirán de acuerdo con la Norma UNE 7267. La resistencia a compresión de los ladrillos será como mínimo:

- Macizos = 100 kg/cm<sup>2</sup>
- Perforados = 100 kg/cm<sup>2</sup>
- Huecos = 50 kg/cm<sup>2</sup>

#### 27.2.9.2. Viguetas prefabricadas

Las viguetas serán armadas o pretensadas según la memoria de cálculo y deberán poseer la autorización de uso del M.O.P. No obstante el fabricante deberá garantizar su fabricación y resultados por escrito, caso de que se requiera.

El fabricante deberá facilitar instrucciones adicionales para su utilización y montaje en caso de ser éstas necesarias siendo responsable de los daños que pudieran ocurrir por carencia de las instrucciones necesarias.

Tanto el forjado como su ejecución se adaptarán a la EF-96.

#### 27.2.9.3. Bovedillas

Las características se deberán exigir directamente al fabricante a fin de ser aprobadas.

## 27.2.10. Materiales para soldados y alicatados

### 27.2.10.1. Baldosas y losas de terrazo

Se compondrán como mínimo de una capa de huella de hormigón o mortero de cemento, triturados de piedra o mármol, y, en general, colorantes y de una capa base de mortero menos rico y árido más grueso.

Los áridos estarán limpios y desprovistos de arcilla y materia orgánica. Los colorantes no serán orgánicos y se ajustarán a la Norma UNE 41060.

Las tolerancias en dimensiones serán:

- Para medidas superiores a diez centímetros, cinco décimas de milímetro en más o en menos.
- Para medidas de diez centímetros o menos tres décimas de milímetro en más o en menos.
- El espesor medido en distintos puntos de su contorno no variará en más de un milímetro y medio y no será inferior a los valores indicados a continuación.
- Se entiende a estos efectos por lado, el mayor del rectángulo si la baldosa es rectangular, y si es de otra forma, el lado mínimo del cuadrado circunscrito.
- El espesor de la capa de la huella será uniforme y no menor en ningún punto de siete milímetros y en las destinadas a soportar tráfico o en las losas no menor de ocho milímetros.
- La variación máxima admisible en los ángulos medida sobre un arco de 20 cm. de radio será de más/menos medio milímetro.
- La flecha mayor de una diagonal no sobrepasará el cuatro por mil de la longitud, en más o en menos.
- El coeficiente de absorción de agua determinado según la Norma UNE 7008 será menor o igual al quince por ciento.
- El ensayo de desgaste se efectuará según Norma UNE 7015, con un recorrido de 250 metros en húmedo y con arena como abrasivo; el desgaste máximo admisible será de cuatro milímetros y sin que aparezca la segunda capa tratándose de baldosas para interiores de tres milímetros en baldosas de aceras o destinadas a soportar tráfico.

Las muestras para los ensayos se tomarán por azar, 20 unidades como mínimo del millar y cinco unidades por cada millar más, desechando y sustituyendo por otras las que tengan defectos visibles, siempre que el número de desechadas no exceda del cinco por ciento.

### 27.2.10.2. Rodapiés de terrazo

Las piezas para rodapié, estarán hechas de los mismos materiales que los del solado, tendrán un canto romo y sus dimensiones serán de 40 x 10 cm.

Las exigencias técnicas serán análogas a las del material de solado.

### 27.2.10.3. Azulejos

Se definen como azulejos las piezas poligonales, con base cerámica recubierta de una superficie vidriada de colorido variado que sirve para revestir paramentos. Deberán cumplir las siguientes condiciones:

- Ser homogéneos, de textura compacta y restantes al desgaste.

- Carecer de grietas, coqueras, planos y exfoliaciones y materias extrañas que pueden disminuir su resistencia y duración.
- Tener color uniforme y carecer de manchas eflorescentes.
- La superficie vitrificada será completamente plana, salvo cantos romos o terminales.

Los azulejos estarán perfectamente moldeados y su forma y dimensiones serán las señaladas en los planos. La superficie de los azulejos será brillante, salvo que, explícitamente, se exija que la tenga mate.

Los azulejos situados en las esquinas no serán lisos, sino que presentarán según los casos, un canto romo, largo o corto, o un terminal de esquina izquierda o derecha, o un terminal de ángulo entrante con aparejo vertical u horizontal.

La tolerancia en las dimensiones será de un uno por ciento en menos y un cero en más, para los de primera clase.

La determinación de los defectos en las dimensiones se hará aplicando una escuadra perfectamente ortogonal a una vertical cualquiera del azulejo, haciendo coincidir una de las aristas con un lado de la escuadra. La desviación del extremo de la otra arista respecto al lado de la escuadra es el error absoluto, que se traducirá a porcentual.

#### 27.2.10.4. Baldosas y losas de mármol

Los mármoles deben de estar exentos de los defectos generales tales como pelos, grietas, coqueras, bien sean estos defectos debidos a trastornos de la formación de la masa o a la mala explotación de las canteras. Deberán estar perfectamente planos y pulimentados.

Las baldosas serán piezas de 50 x 50 cm. como máximo y 3 cm. de espesor. Las tolerancias en sus dimensiones se ajustarán a las expresadas en el párrafo 9.1. para las piezas de terrazo.

#### 27.2.10.5. Rodapiés de mármol

Las piezas de rodapié estarán hechas del mismo material que las de solado; tendrán un canto romo y serán de 10 cm. de alto. Las exigencias técnicas serán análogas a las del solado de mármol.

#### 27.2.11. Carpintería de taller

##### 27.2.11.1. Puertas de madera

Las puertas de madera que se emplean en la obra deberán tener la aprobación del Ministerio de Industria, la autorización de uso del M.O.P.U. o documento de idoneidad técnica expedido por el I.E.T.C.C.

##### 27.2.11.2. Cercos

Los cercos de los marcos interiores serán de primera calidad con una escuadría mínima de 7 x 5 cm.

#### 27.2.12. Carpintería metálica

##### 27.2.12.1. Ventanas y Puertas

Los perfiles empleados en la confección de ventanas y puertas metálicas, serán especiales de doble junta y cumplirán todas las prescripciones legales. No se admitirán rebabas ni curvaturas rechazándose los elementos que adolezcan de algún defecto de fabricación.

### 27.2.13. Pintura

#### 27.2.13.1. Pintura al temple

Estará compuesta por una cola disuelta en agua y un pigmento mineral finamente disperso con la adición de un antifermo tipo formol para evitar la putrefacción de la cola. Los pigmentos a utilizar podrán ser:- Blanco de Cinc que cumplirá la Norma UNE 48041.

Litopón que cumplirá la Norma UNE 48040.

Bióxido de Titanio tipo anatasa según la Norma UNE 48044. También podrán emplearse mezclas de estos pigmentos con carbonato cálcico y sulfato básico. Estos dos últimos productos considerados como cargas no podrán entrar en una proporción mayor del veinticinco por ciento del peso del pigmento.

#### 27.2.13.2. Pintura plástica

Está compuesta por un vehículo formado por barniz adquirido y los pigmentos están constituidos de bióxido de titanio y colores resistentes.

### 27.2.14. Colores, aceites barnices, etc.

Todas las sustancias de uso general en la pintura deberán ser de excelente calidad. Los colores reunirán las condiciones siguientes:

- Facilidad de extenderse y cubrir perfectamente las superficies.
- Fijeza en su tinta.
- Facultad de incorporarse al aceite, color, etc.
- Ser inalterables a la acción de los aceites o de otros colores.
- Insolubilidad en el agua.

Los aceites y barnices reunirán a su vez las siguientes condiciones:

- Ser inalterables por la acción del aire.
- Conservar la fijeza de los colores.
- Transparencia y color perfectos.

Los colores estarán bien molidos y serán mezclados con el aceite, bien purificados y sin posos. Su color será amarillo claro, no admitiéndose el que al usarlo, deje manchas o ráfagas que indiquen la presencia de sustancias extrañas.

### 27.2.15. Fontanería

#### 27.2.15.1. Tubería de hierro galvanizado

La designación de pesos, espesores de pared, tolerancias, etc. se ajustarán a las correspondientes normas DIN. Los manguitos de unión serán de hierro maleable galvanizado con junta esmerilada.

#### 27.2.15.2. Tubería de cemento centrifugado

Todo saneamiento horizontal se realizará en tubería de cemento centrifugado siendo el diámetro mínimo a utilizar de veinte centímetros.

Los cambios de sección se realizarán mediante las arquetas correspondientes.

#### 27.2.15.3. Bajantes

Las bajantes tanto de aguas pluviales como fecales serán de fibrocemento o materiales plásticos que dispongan autorización de uso. No se admitirán bajantes de diámetro inferior a 12 cm.

Todas las uniones entre tubos y piezas especiales se realizarán mediante uniones Gibault.

#### 27.2.15.4. Tubería de cobre

La red de distribución de agua y gas butano se realizará en tubería de cobre, sometiendo a la citada tubería a la presión de prueba exigida por la empresa Gas Butano, operación que se efectuará una vez acabado el montaje.

Las designaciones, pesos, espesores de pared y tolerancias se ajustarán a las normas correspondientes de la citada empresa.

Las válvulas a las que se someterá a una presión de prueba superior en un cincuenta por ciento a la presión de trabajo serán de marca aceptada por la empresa Gas Butano y con las características que ésta le indique.

#### 27.2.16. Instalaciones eléctricas

##### 27.2.16.1. Normas

Todos los materiales que se empleen en la instalación eléctrica, tanto de A.T. como de B.T., deberán cumplir las prescripciones técnicas que dictan las normas internacionales C.B.I., los reglamentos para instalaciones eléctricas actualmente en vigor, así como las normas técnico-prácticas de la Compañía Suministradora de Energía.

##### 27.2.16.2. Conductores de baja tensión

Los conductores de los cables serán de cobre de nudo recocido normalmente con formación e hilo único hasta 6 mm<sup>2</sup>.

La cubierta será de policloruro de vinilo tratada convenientemente de forma que asegure mejor resistencia al frío, a la laceración, a la abrasión respecto al policloruro de vinilo normal. (PVC).

La acción sucesiva del sol y de la humedad no debe provocar la más mínima alteración de la cubierta. El relleno que sirve para dar forma al cable aplicado por extrusión sobre las almas del cableado debe ser de material adecuado de manera que pueda ser fácilmente separado para la confección de los empalmes y terminales.

Los cables denominados de "instalación" normalmente alojados en tubería protectora serán de cobre con aislamiento de PVC. La tensión de servicio será de 750 V y la tensión de ensayo de 2.000 V.

La sección mínima que se utilizará en los cables destinados tanto a circuitos de alumbrado como de fuerza será de 1.5 mm<sup>2</sup>.

Los ensayos de tensión y de la resistencia de aislamiento se efectuarán con la tensión de prueba de 2.000 V. y de igual forma que en los cables anteriores.

#### 27.2.16.3. Aparatos de alumbrado interior

Las luminarias se construirán con chasis de chapa de acero de calidad con espesor o nervaduras suficientes para alcanzar tal rigidez.

Los enchufes con toma de tierra tendrán esta toma dispuesta de forma que sea la primera en establecerse y la última en desaparecer y serán irreversibles, sin posibilidad de error en la conexión.

### 27.3. Epígrafe 3: condiciones para la ejecución de las unidades de obra

#### 27.3.1. Movimientos de tierras

##### 27.3.1.1. Explanación y préstamos

Consiste en el conjunto de operaciones para excavar, evacuar, rellenar y nivelar el terreno, así como las zonas de préstamos que puedan necesitarse y el consiguiente transporte de los productos removidos a depósito o lugar de empleo.

##### 27.3.1.2. Ejecución de las obras

Una vez terminadas las operaciones de desbroce del terreno, se iniciarán las obras de excavaciones ajustándose a las alienaciones pendientes dimensiones y demás información contenida en los planos.

La tierra vegetal que se encuentre en las excavaciones, que no se hubiera extraído en el desbroce se aceptará para su utilización posterior en protección de superficies erosionables.

En cualquier caso, la tierra vegetal extraída se mantendrá separada del resto de los productos excavados.

Todos los materiales que se obtengan de la excavación, excepción hecha de la tierra vegetal, se podrán utilizar en la formación de rellenos y demás usos fijados en este Pliego y se transportarán directamente a las zonas previstas dentro del solar, o vertedero si no tuvieran aplicación dentro de la obra.

En cualquier caso, no se desechará ningún material excavado sin previa autorización. Durante las diversas etapas de la construcción de la explanación, las obras se mantendrán en perfectas condiciones de drenaje.

El material excavado no se podrá colocar de forma que represente un peligro para construcciones existentes, por presión directa o por sobrecarga de los rellenos contiguos.

##### 27.3.1.3. Medición y abono

La excavación de la explanación se abonará por metros cúbicos realmente excavados medidos por diferencia entre los datos iniciales tomados inmediatamente antes de iniciar los trabajos y los datos finales, tomados inmediatamente después de concluidos. La medición se hará sobre los perfiles obtenidos.

##### 27.3.1.4. Excavación en zanjas y pozos

Consiste en el conjunto de operaciones necesarias para conseguir emplazamiento adecuado para las obras de fábrica y estructuras, y sus cimentaciones; comprenden zanjas de drenaje u otras análogas. Su ejecución incluye las operaciones de excavación, nivelación y evacuación del terreno y el consiguiente transporte de los productos removidos a depósito o lugar de empleo.

#### 27.3.1.5. Ejecución de las obras

El contratista de Las obras notificará con la antelación suficiente, el comienzo de cualquier excavación, a fin de que se puedan efectuar las mediciones necesarias sobre el terreno inalterado. El terreno natural adyacente al de la excavación o se modificará ni renovará sin autorización.

La excavación continuará hasta Llegar a la profundidad en que aparezca el firme y obtenerse una superficie limpia y firme, a nivel o escalonada, según se ordene. No obstante, la Dirección Facultativa podrá modificar la profundidad, si la vista de las condiciones del terreno lo estimara necesario a fin de conseguir una cimentación satisfactoria.

#### 27.3.1.6. Preparación de cimentaciones

La excavación de cimientos se profundizará hasta el límite indicado en el proyecto. Las corrientes o aguas pluviales o subterráneas que pudieran presentarse, se cegarán o desviarán en la forma y empleando los medios convenientes.

Antes de proceder al vertido del hormigón y la colocación de las armaduras de cimentación, se dispondrá de una capa de hormigón pobre de diez centímetros de espesor debidamente nivelada.

El importe de esta capa de hormigón se considera incluido en los precios unitarios de cimentación.

#### 27.3.1.7. Medición y abono

La excavación en zanjas o pozos se abonará por metros cúbicos realmente excavados medidos por diferencia entre los datos iniciales tomados inmediatamente antes de iniciar los trabajos y los datos finales tomados inmediatamente después de finalizados los mismos.

#### 27.3.1.8. Relleno y apisonado de zanjas de pozos

Consiste en la extensión o compactación de materiales terrosos, procedentes de excavaciones anteriores o préstamos para relleno de zanjas y pozos.

#### 27.3.1.9. Extensión y compactación

Los materiales de relleno se extenderán en tongadas sucesivas de espesor uniforme y sensiblemente horizontales. El espesor de estas tongadas será el adecuado a los medios disponibles para que se obtenga en todo el mismo grado de compactación exigido.

La superficie de las tongadas será horizontal o convexa con pendiente transversal máxima del dos por ciento. Una vez extendida la tongada, se procederá a la humectación si es necesario.

El contenido óptimo de humedad se determinará en obra, a la vista de la maquinaria disponible y de los resultados que se obtengan de los ensayos realizados.

En los casos especiales en que la humedad natural del material sea excesiva para conseguir la compactación prevista, se tomarán las medidas adecuadas procediendo incluso a la desecación por oreo, o por adición de mezcla de materiales secos o sustancias apropiadas (cal viva, etc.)

Conseguida la humectación más conveniente, posteriormente se procederá a la compactación mecánica de la tongada.

Sobre las capas en ejecución debe prohibirse la acción de todo tipo de tráfico hasta que se haya completado su composición. Si ello no es factible el tráfico que necesariamente tenga que pasar sobre ellas se distribuirá de forma que se concentren rodadas en superficie.

#### 27.3.1.10. Medición y Abono

Las distintas zonas de los rellenos se abonarán por metros cúbicos realmente ejecutados medidos por diferencia entre los datos iniciales tomados inmediatamente antes de iniciarse los trabajos y los datos finales, tomados inmediatamente después de compactar el terreno.

### 27.3.2. Hormigones

#### 27.3.2.1. Dosificación de hormigones

Corresponde al contratista efectuar el estudio granulométrico de los áridos, dosificación de agua y consistencia del hormigón de acuerdo con los medios y puesta en obra que emplee en cada caso, y siempre cumpliendo lo prescrito en la EHE.

#### 27.3.2.2. Fabricación de hormigones

En la confección y puesta en obra de los hormigones se cumplirán las prescripciones generales de la INSTRUCCIÓN DE HORMIGÓN ESTRUCTURAL (EHE). REAL DECRETO 2661/1998, de 11-DIC, del Ministerio de Fomento.

Los áridos, el agua y el cemento deberán dosificarse automáticamente en peso. Las instalaciones de dosificación, lo mismo que todas las demás para la fabricación y puesta en obra del hormigón habrán de someterse a lo indicado.

Las tolerancias admisibles en la dosificación serán del dos por ciento para el agua y el cemento, cinco por ciento para los distintos tamaños de áridos y dos por ciento para el árido total. En la consistencia del hormigón admitirá una tolerancia de veinte milímetros medida con el cono de Abrams.

La instalación de hormigonado será capaz de realizar una mezcla regular e íntima de los componentes proporcionando un hormigón de color y consistencia uniforme.

En la hormigonera deberá colocarse una placa, en la que se haga constar la capacidad y la velocidad en revoluciones por minuto recomendadas por el fabricante, las cuales nunca deberán sobrepasarse.

Antes de introducir el cemento y los áridos en el mezclador, este se habrá cargado de una parte de la cantidad de agua requerida por la masa completándose la dosificación de este elemento en un periodo de tiempo que no deberá ser inferior a cinco segundos ni superior a la tercera parte del tiempo de mezclado, contados a partir del momento en que el cemento y los áridos se han introducido en el mezclador. Antes de volver a cargar de nuevo la hormigonera se vaciará totalmente su contenido.

No se permitirá volver a amasar en ningún caso hormigones que hayan fraguado parcialmente, aunque se añadan nuevas cantidades de cemento, áridos y agua.

#### 27.3.2.3. Mezcla en obra

La ejecución de la mezcla en obra se hará de la misma forma que la señalada para la mezcla en central.



#### 27.3.2.4. Transporte de hormigón

El transporte desde la hormigonera se realizará tan rápidamente como sea posible. En ningún caso se tolerará la colocación en obra de hormigones que acusen un principio de fraguado o presenten cualquier otra alteración.

Al cargar los elementos de transporte no debe formarse con las masas montones cónicos, que favorecerían la segregación.

Cuando la fabricación de la mezcla se haya realizado en una instalación central, su transporte a obra deberá realizarse empleando camiones provistos de agitadores.

#### 27.3.2.5. Puesta en obra del hormigón

Como norma general no deberá transcurrir más de una hora entre la fabricación del hormigón, su puesta en obra y su compactación.

No se permitirá el vertido libre del hormigón desde alturas superiores a un metro, quedando prohibido el arrojarlo con palas a gran distancia, distribuirlo con rastrillo, o hacerlo avanzar más de medio metro de los encofrados.

Al verter el hormigón se removerá enérgica y eficazmente para que las armaduras queden perfectamente envueltas, cuidando especialmente los sitios en que se reúne gran cantidad de acero, y procurando que se mantengan los recubrimientos y la separación entre las armaduras.

En losas, el extendido del hormigón se ejecutará de modo que el avance se realice en todo su espesor.

En vigas, el hormigonado se hará avanzando desde los extremos, llenándolas en toda su altura y procurando que el frente vaya recogido, para que no se produzcan segregaciones y la lechada escurra a lo largo del encofrado.

#### 27.3.2.6. Compactación del hormigón

La compactación de hormigones deberá realizarse por vibración. Los vibradores se aplicarán siempre de modo que su efecto se extienda a toda la masa, sin que se produzcan segregaciones. Si se emplean vibradores internos, deberán sumergirse longitudinalmente en la tongada subyacente y retirarse también longitudinalmente sin desplazarlos transversalmente mientras estén sumergidos en el hormigón. La aguja se introducirá y retirará lentamente, y a velocidad constante, recomendándose a este efecto que no se superen los 10 cm/s, con cuidado de que la aguja no toque las armaduras. La distancia entre los puntos sucesivos de inmersión no será superior a 75 cm, y será la adecuada para producir en toda la superficie de la masa vibrada una humectación brillante, siendo preferible vibrar en pocos puntos prolongadamente. No se introducirá el vibrador a menos de 10 cm de la pared del encofrado.

#### 27.3.2.7. Curado de hormigón

Durante el primer período de endurecimiento se someterá al hormigón a un proceso curado según el tipo de cemento utilizado y las condiciones climatológicas del lugar.

En cualquier caso, deberá mantenerse la humedad del hormigón y evitarse todas las causas tanto externas, como sobrecarga o vibraciones, que puedan provocar la fisuración del elemento hormigonado. Una vez humedecido el hormigón se mantendrán húmedas sus superficies, mediante arpilleras, esterillas de paja u otros tejidos análogos durante tres días si el

conglomerante empleado fuese cemento Portland I-35, aumentándose este plazo en el caso de que el cemento utilizado fuese de endurecimiento más lento.

#### 27.3.2.8. Juntas en el hormigonado

Las juntas podrán ser de hormigonado, contracción o dilatación, debiendo cumplir lo especificado en los planos.

Se cuidará que las juntas creadas por las interrupciones en el hormigonado queden normales a la dirección de los máximos esfuerzos de compresión, o donde sus efectos sean menos perjudiciales.

Cuando sean de temer los efectos debidos a la retracción, se dejarán juntas abiertas durante algún tiempo, para que las masas contiguas puedan deformarse libremente. El ancho de tales juntas deberá ser el necesario para que, en su día, puedan hormigonarse correctamente.

Al reanudar los trabajos se limpiará la junta de toda suciedad, lechada o árido que haya quedado suelto, y se humedecerá su superficie sin exceso de agua, aplicando en toda su superficie lechada de cemento antes de verter el nuevo hormigón. Se procurará alejar las juntas de hormigonado de las zonas en que la armadura esté sometida a fuertes tracciones.

#### 27.3.2.9. Terminación de los paramentos vistos

Si no se prescribe otra cosa, la máxima flecha o irregularidad que pueden presentar los paramentos planos, medida respecto a una regla de dos metros de longitud aplicada en cualquier dirección será la siguiente:

- Superficies vistas: seis milímetros (6 mm).
- Superficies ocultas: veinticinco milímetros (25 mm).

#### 27.3.2.10. Limitaciones de ejecución

El hormigonado se suspenderá, como norma general, en caso de lluvias, adoptándose las medidas necesarias para impedir la entrada de la lluvia a las masas de hormigón fresco o lavado de superficies. Si esto llegara a ocurrir, se habrá de picar la superficie lavada, regarla y continuar el hormigonado después de aplicar lechada de cemento.

#### 27.3.2.11. Medición y Abono

El hormigón se medirá y abonará por metro cúbico realmente vertido en obra, midiendo entre caras interiores de encofrado de superficies vistas. En las obras de cimentación que no necesiten encofrado se medirá entre caras de terreno excavado. En el caso de que en el Cuadro de Precios la unidad de hormigón se exprese por metro cuadrado como es el caso de soleras, forjado, etc., se medirá de esta forma por metro cuadrado realmente ejecutado, incluyéndose en las mediciones todas las desigualdades y aumentos de espesor debidas a las diferencias de la capa inferior. Si en el Cuadro de Precios se indicara que está incluido el encofrado, acero, etc., siempre se considerará la misma medición del hormigón por metro cúbico o por metro cuadrado. En el precio van incluidos siempre los servicios y costos de curado de hormigón.

### 27.3.3. Morteros

#### 27.3.3.1. Dosificación de morteros

Se fabricarán los tipos de morteros especificados en las unidades de obra, indicándose cuál ha de emplearse en cada caso para la ejecución de las distintas unidades de obra.

#### 27.3.3.2. Fabricación de morteros

Los morteros se fabricarán en seco, continuándose el batido después de verter el agua en la forma y cantidad fijada, hasta obtener una plasta homogénea de color y consistencia uniforme sin palomillas ni grumos.

#### 27.3.3.3. Medición y abono

El mortero suele ser una unidad auxiliar y, por tanto, su medición va incluida en las unidades a las que sirve: fábrica de ladrillos, enfoscados, pavimentos, etc. En algún caso excepcional se medirá y abonará por metro cúbico, obteniéndose su precio del Cuadro de Precios si lo hay u obteniendo un nuevo precio contradictorio.

#### 27.3.4. Encofrados

##### 27.3.4.1. Construcción y montaje

Tanto las uniones como las piezas que constituyen los encofrados, deberán poseer la resistencia y la rigidez necesarias para que con la marcha prevista de hormigonado y especialmente bajo los efectos dinámicos producidos por el sistema de compactación exigido o adoptado, no se originen esfuerzos anormales en el hormigón, ni durante su puesta en obra, ni durante su periodo de endurecimiento, así como tampoco movimientos locales en los encofrados superiores a los 5 mm.

Los enlaces de los distintos elementos o planos de los moldes serán sólidos y sencillos, de modo que su montaje se verifique con facilidad.

Los encofrados de los elementos rectos o planos de más de 6 m. de luz libre se dispondrán con la contra flecha necesaria para que, una vez encofrado y cargado el elemento, este conserve una ligera cavidad en el intradós.

Los moldes ya usados, y que vayan a servir para unidades repetidas serán cuidadosamente rectificadas y limpiados.

Los encofrados de madera se humedecerán antes del hormigonado, a fin de evitar la absorción del agua contenida en el hormigón, y se limpiarán especialmente los fondos dejándose aberturas provisionales para facilitar esta labor.

Las juntas entre las distintas tablas deberán permitir el entumecimiento de las mismas por la humedad del riego y del hormigón, sin que, sin embargo, dejen escapar la plasta durante el hormigonado, para lo cual se podrá realizar un sellado adecuado.

##### 27.3.4.2. Apeos y cimbras. Construcción y montaje

Las cimbras y apeos deberán ser capaces de resistir el peso total propio y el del elemento completo sustentado, así como otras sobrecargas accidentales que puedan actuar sobre ellas (operarios, maquinaria, viento, etc.).

Las cimbras y apeos tendrán la resistencia y disposición necesaria para que en ningún momento los movimientos locales, sumados en su caso a los del encofrado sobrepasen los 5 mm, ni los de conjunto la milésima de la luz (1/1.000).

##### 27.3.4.3. Desencofrado y descimbrado del hormigón

El desencofrado de costeros verticales de elementos de poco canto podrá efectuarse a un día de hormigonada la pieza, a menos que durante dicho intervalo se hayan producido bajas temperaturas y otras cosas capaces de alterar el proceso normal de endurecimiento del

hormigón. Los costeros verticales de elementos de gran canto no deberán retirarse antes de los dos días con las mismas salvedades apuntadas anteriormente a menos que se emplee curado a vapor.

El descimbrado podrá realizarse cuando, a la vista de las circunstancias y temperatura del resultado; las pruebas de resistencia, elemento de construcción sustentado haya adquirido el doble de la resistencia necesaria para soportar los esfuerzos que aparezcan al descimbrar. El descimbrado se hará de modo suave y uniforme, recomendándose el empleo de cunas, gatos; cajas de arena y otros dispositivos, cuando el elemento a descimbrar sea de cierta importancia.

#### 27.3.4.4. Medición y abono

Los encofrados se medirán siempre por metros cuadrados de superficie en contacto con el hormigón, no siendo de abono las obras o excesos de encofrado, así como los elementos auxiliares de sujeción o apeos necesarios para mantener el encofrado en una posición correcta y segura contra esfuerzos de viento, etc. En este precio se incluyen, además, los desencofrantes y las operaciones de desencofrado y retirada del material. En el caso de que en el cuadro de precios esté incluido el encofrado la unidad de hormigón, se entiende que tanto el encofrado como los elementos auxiliares y el desencofrado van incluidos en la medición del hormigón.

#### 27.3.5. Armaduras

Colocación, recubrimiento y empalme de armaduras Todas estas operaciones se efectuarán de acuerdo con los artículos de la INSTRUCCIÓN DE HORMIGÓN ESTRUCTURAL (EHE). REAL DECRETO 2661/1998, de 11-DIC, del Ministerio de Fomento.

##### Medición y abono

De las armaduras de acero empleadas en el hormigón armado, se abonarán los kg realmente empleados, deducidos de los planos de ejecución, por medición de su longitud, añadiendo la longitud de los solapes de empalme, medida en obra y aplicando los pesos unitarios correspondientes a los distintos diámetros empleados.

En ningún caso se abonará con solapes un peso mayor del 5% del peso del redondo resultante de la medición efectuada en el plano sin solapes.

El precio comprenderá a la adquisición, los transportes de cualquier clase hasta el punto de empleo, el pesaje, la limpieza de armaduras, si es necesario, el doblado de las mismas, el izado, sustentación y colocación en obra, incluido el alambre para ataduras y separadores, la pérdida por recortes y todas cuantas operaciones y medios auxiliares sean necesarios.

#### 27.3.6. Albañilería

##### 27.3.6.1. Fábrica de ladrillo

Los ladrillos se colocan según los aparejos presentados en el proyecto. Antes de colocarlos se humedecerán en agua. El humedecimiento deberá ser hecho inmediatamente antes de su empleo, debiendo estar sumergidos en agua 10 minutos al menos. Salvo especificaciones en contrario, el tendel debe tener un espesor de 10 mm.

Todas las hiladas deben quedar perfectamente horizontales y con la cara buena perfectamente plana, vertical y a plano con los demás elementos que deba coincidir. Para ello se hará uso de las miras necesarias, colocando la cuerda en las divisiones o marcas hechas en las miras.

Salvo indicación en contra se empleará un mortero de 250 kg de cemento I-35 por m<sup>3</sup> de pasta.

Al interrumpir el trabajo, se quedará el muro en adaraja para trabar al día siguiente la fábrica con la anterior. Al reanudar el trabajo se regará la fábrica antigua limpiándola de polvo y repicando el mortero.

Las unidades en ángulo se harán de manera que medio ladrillo de un muro contiguo, alternándose las hileras.

La medición se hará por m<sup>2</sup>. Se medirán las unidades realmente ejecutadas descontándose los huecos.

#### 27.3.6.2. Tabicón de ladrillo hueco doble

Para la construcción de tabiques se emplearán tabicones huecos colocándolos de canto, con sus lados mayores formando los paramentos del tabique. Se mojarán inmediatamente antes de su uso. Se tomarán con mortero de cemento. Su construcción se hará con auxilio de miras y cuerdas y se rellenarán las hiladas perfectamente horizontales. Cuando en el tabique haya huecos, se colocarán previamente los cercos que quedarán perfectamente aplomados y nivelados.

Su medición se hará por metro cuadrado de tabique realmente ejecutado.

#### 27.3.6.3. Cítaras de ladrillo perforado y hueco doble

Se tomarán con mortero de cemento y con condiciones de medición y ejecución análogas a las descritas en el párrafo 6.2. para el tabicón. Tabiques de ladrillo hueco sencillo

Se tomarán con mortero de cemento y con condiciones de ejecución y medición análogas en el párrafo 6.2.

#### 27.3.6.4. Guarnecido y maestrado de yeso negro

Para ejecutar los guarnecidos se construirán unas muestras de yeso previamente que servirán de guía al resto del revestimiento. Para ello se colocarán renglones de madera bien rectos, espaciados a un metro aproximadamente sujetándolos con dos puntos de yeso en ambos extremos.

Los renglones deben estar perfectamente aplomados guardando una distancia de 1,5 a 2 cm. aproximadamente del paramento a revestir. Las caras interiores de los renglones estarán situadas en un mismo plano, para lo cual se tenderá una cuerda para los puntos superiores e inferiores de yeso, debiendo quedar aplomados en sus extremos. Una vez fijos los renglones, se regará el paramento y se echará el yeso entre cada región y el paramento, procurando que quede bien relleno el hueco. Para ello, seguirán lanzando pelladas de yeso al paramento pasando una regla bien recta sobre las maestras quedando enrasado el guarnecido con las maestras.

Las masas de yeso habrá que hacerlas en cantidades pequeñas para ser usadas inmediatamente y evitar su aplicación cuando este "muerto". Se prohibirá tajantemente la preparación del yeso en grandes artesas con gran cantidad de agua para que vaya espesando según se vaya empleando.

Si el guarnecido va a recibir un guarnecido posterior, quedará con su superficie rugosa a fin de facilitar la adherencia del enlucido. En todas las esquinas se colocarán guardavivos

metálicos de 2 m. de altura. Su colocación se hará por medio de un renglón debidamente aplomado que servirá, al mismo tiempo, para hacer la muestra de la esquina.

La medición se hará por metro cuadrado de guarnecido realmente ejecutado, deduciéndose huecos, incluyéndose en el precio todos los medios auxiliares, andamios, banquetas, etc., empleados para su construcción. En el precio se incluirán así mismo los guardavivos de las esquinas y su colocación.

#### 27.3.6.5. Enlucido de yeso blanco

Para los enlucidos se usarán únicamente yesos blancos de primera calidad. Inmediatamente de amasado se extenderá sobre el guarnecido de yeso hecho previamente, extendiéndolo con la llana y apretando fuertemente hasta que la superficie quede completamente lisa y fina. El espesor del enlucido será de 2 a 3 mm. Es fundamental que la mano de yeso se aplique inmediatamente después de amasado para evitar que el yeso este 'muerto'.

Su medición y abono será por metros cuadrados de superficie realmente ejecutada. Si en el Cuadro de Precios figura el guarnecido y el enlucido en la misma unidad, la medición y abono correspondiente comprenderá todas las operaciones y medio auxiliares necesarios para dejar bien terminado y rematado tanto el guarnecido como el enlucido, con todos los requisitos prescritos en este Pliego.

#### 27.3.6.6. Enfoscados de cemento

Los enfoscados de cemento se harán con cemento de 550 kg de cemento por m<sup>3</sup> de pasta, en paramentos exteriores y de 500 kg de cemento por m<sup>3</sup> en paramentos interiores, empleándose arena de río o de barranco, lavada para su confección.

Antes de extender el mortero se prepara el paramento sobre el cual haya de aplicarse.

En todos los casos se limpiarán bien de polvo los paramentos y se lavarán, debiendo estar húmeda la superficie de la fábrica antes de extender el mortero. La fábrica debe estar en su interior perfectamente seca. Las superficies de hormigón se picarán, regándolas antes de proceder al enfoscado.

Preparada así la superficie, se aplicará con fuerza el mortero sobre una parte del paramento por medio de la llana, evitando echar una porción de mortero sobre otra ya aplicada. Así se extenderá una capa que se irá regularizando al mismo tiempo que se coloca para lo cual se recogerá con el canto de la llana el mortero. Sobre el revestimiento blando todavía se volverá a extender una segunda capa, continuando así hasta que la parte sobre la que se haya operado tenga conveniente homogeneidad. Al emprender la nueva operación habrá fraguado la parte aplicada anteriormente. Será necesario pues, humedecer sobre la junta de unión antes de echar sobre ellas las primeras llanas del mortero.

La superficie de los enfoscados debe quedar áspera para facilitar la adherencia del revoco que se hecha sobre ellos. En el caso de que la superficie deba quedar fratasada se dará una segunda capa de mortero fino con el fratas.

Si las condiciones de temperatura y humedad lo requieren a juicio de la Dirección Facultativa, se humedecerán diariamente los enfoscados, bien durante la ejecución o bien después de terminada, para que el fraguado se realice en buenas condiciones.

#### 27.3.6.7. Formación de peldaños

Se construirán con ladrillo hueco doble tomado con mortero de cemento.

#### 27.3.7. Solados y alicatados

##### 27.3.7.1. Solado de baldosas de terrazo

Las baldosas, bien saturadas de agua, a cuyo efecto deberán tenerse sumergidas en agua una hora antes de su colocación; se asentarán sobre una capa de mortero de 400 kg/m.<sup>3</sup> confeccionado con arena, vertido sobre otra capa de arena bien igualada y apisonada, cuidando que el material de agarre forme una superficie continua de asiento y recibido de solado, y que las baldosas queden con sus lados a tope.

Terminada la colocación de las baldosas se las enlechará con lechada de cemento Portland, pigmentada con el color del terrazo, hasta que se llenen perfectamente las juntas repitiéndose esta operación a las 48 horas.

##### 27.3.7.2. Solados

El solado debe formar una superficie totalmente plana y horizontal, con perfecta alineación de sus juntas en todas direcciones. Colocando una regla de 2 m. de longitud sobre el solado, en cualquier dirección; no deberán aparecer huecos mayores a 5 mm.

Se impedirá el tránsito por los solados hasta transcurridos cuatro días como mínimo, y en caso de ser este indispensable, se tomarán las medidas precisas para que no se perjudique al solado.

Los pavimentos se medirán y abonarán por metro cuadrado de superficie de solado realmente ejecutada.

Los rodapiés y los peldaños de escalera se medirán y abonarán por metro lineal. El precio comprende todos los materiales, mano de obra, operaciones y medios auxiliares necesarios para terminar completamente cada unidad de obra con arreglo a las prescripciones de este Pliego.

##### 27.3.7.3. Alicatados de azulejos

Los azulejos que se emplean en el chapado de cada paramento o superficie seguida, se entonarán perfectamente dentro de su color para evitar contrastes, salvo que expresamente se ordene lo contrario por la Dirección Facultativa.

El chapado estará compuesto por piezas lisas y las correspondientes y necesarias especiales y de canto romo, y se sentará de modo que la superficie quede tersa y unida, sin alabeo ni deformación a junta seguida, formando las juntas línea seguida en todos los sentidos sin quebrantos ni desplomes.

Los azulejos sumergidos en agua 12 horas antes de su empleo y se colocarán con mortero de cemento, no admitiéndose el yeso como material de agarre.

Todas las juntas, se rejuntarán con cemento blanco o de color pigmentado, según los casos, y deberán ser terminadas cuidadosamente.

La medición se hará por metro cuadrado realmente realizado, descontándose huecos y midiéndose jambas y mochetas.

#### 27.3.8. Carpintería de taller

La carpintería de taller se realizará en todo conforme a lo que aparece en los planos del proyecto. Todas las maderas estarán perfectamente rectas, cepilladas y lijadas y bien montadas a plano y escuadra, ajustando perfectamente las superficies vistas.

La carpintería de taller se medirá por metros cuadrados de carpintería, entre lados exteriores de cercos y del suelo al lado superior del cerco, en caso de puertas. En esta medición se incluye la medición de la puerta o ventana y de los cercos correspondientes más los tapajuntas y herrajes. La colocación de los cercos se abonará independientemente.

#### 27.3.9. Carpintería metálica

Para la construcción y montaje de elementos de carpintería metálica se observarán rigurosamente las indicaciones de los planos del proyecto. Todas las piezas de carpintería metálica deberán ser montadas, necesariamente, por la casa fabricante o personal autorizado por la misma, siendo el suministrador el responsable del perfecto funcionamiento de todas y cada una de las piezas colocadas en obra.

Todos los elementos se harán en locales cerrados y desprovistos de humedad, asentadas las piezas sobre rastreles de madera, procurando que queden bien niveladas y no haya ninguna que sufra alabeo o torcedura alguna.

La medición se hará por metro cuadrado de carpintería, midiéndose entre lados exteriores. En el precio se incluyen los herrajes, junquillos, retenedores, etc., pero quedan exceptuadas la vidriera, pintura y colocación de cercos.

#### 27.3.10. Pintura

##### 27.3.10.1. Condiciones generales de preparación del soporte

La superficie que se va a pintar debe estar seca, desengrasada, sin óxido ni polvo, para lo cual se empleará cepillos, sopletes de arena, ácidos y alices cuando sean metales.

Los poros, grietas, desconchados, etc., se llenarán con másticos o empastes para dejar las superficies lisas y uniformes. Se harán con un pigmento mineral y aceite de linaza o barniz y un cuerpo de relleno para las maderas. En los paneles, se empleará yeso amasado con agua de cola, y sobre los metales se utilizarán empastes compuestos de 60-70% de pigmento (albayaide), ocre, óxido de hierro, litopon, etc. y cuerpos de relleno (creta, caolín, tiza, espato pesado), 30-40% de barniz copal o ámbar y aceite de maderas.

Los másticos y empastes se emplearán con espátula en forma de masilla; los líquidos con brocha o pincel o con el aerógrafo o pistola de aire comprimido. Los empastes, una vez secos, se pasarán con papel de lija en paredes y se alisarán con piedra pómez, agua y fieltro, sobre metales.

##### 27.3.10.2. Aplicación de la pintura

Las pinturas se podrán dar con pinceles y brocha, con aerógrafo, con pistola, (pulverizando con aire comprimido) o con rodillos.

Las brochas y pinceles serán de pelo de diversos animales, siendo los más corrientes el cerdo o jabalí, marta, tejón y ardilla. Podrán ser redondos o planos, clasificándose por números o por los gramos de pelo que contienen. También pueden ser de nylon.



Los aerógrafos o pistolas constan de un recipiente que contiene la pintura con aire a presión (1-6 atmósferas), el compresor y el pulverizador, con orificio que varía desde 0,2 mm hasta 7 mm, formándose un cono de 2 cm al metro de diámetro.

#### 27.3.10.3. Medición y abono

La pintura se medirá y abonará en general, por metro cuadrado de superficie pintada, efectuándose la medición en la siguiente forma:

- Pintura sobre muros, tabiques y techos: se medirá descontando los huecos. Las molduras se medirán por superficie desarrollada.
- Pintura sobre carpintería se medirá por las dos caras, incluyéndose los tapajuntas.
- Pintura sobre ventanales metálicos: se medirá una cara.

En los precios respectivos está incluido el coste de todos los materiales y operaciones necesarias para obtener la perfecta terminación de las obras, incluso la preparación, lijado, limpieza, plastecido, etc. y todos cuantos medios auxiliares sean precisos.

#### 27.3.11. Fontanería

##### 27.3.11.1. Tubería de cobre

Toda la tubería se instalará de una forma que presente un aspecto limpio y ordenado. Se usarán accesorios para todos los cambios de dirección y los tendidos de tubería se realizarán de forma paralela o en ángulo recto a los elementos estructurales del edificio.

La tubería está colocada en su sitio sin necesidad de forzarla ni flexarla; irá instalada de forma que se contraiga y dilate libremente sin deterioro para ningún trabajo ni para sí misma.

Las uniones se harán de soldadura blanda con capilaridad. Las grapas para colgar la conducción de forjado serán de latón espaciadas 40 cm.

##### 27.3.11.2. Tubería de cemento centrifugado

Se realizará el montaje enterrado, rematando los puntos de unión con cemento. Todos los cambios de sección, dirección y acometida, se efectuarán por medio de arquetas registrables.

En la citada red de saneamiento se situarán pozos de registro con partes para facilitar el acceso.

La pendiente mínima será del 1% en aguas pluviales, y superior al 1,5% en aguas fecales y sucias.

La medición se hará por metro lineal de tubería realmente ejecutada, incluyéndose en ella el lecho de hormigón y los corchetes de unión. Las arquetas se medirán a parte por unidades.

#### 27.3.12. Instalación eléctrica

La ejecución de las instalaciones se ajustará a lo especificado en los reglamentos vigentes y a las disposiciones complementarias que puedan haber dictado la Delegación de Industria en el ámbito de su competencia. Así mismo, en el ámbito de las instalaciones que sea necesario, se seguirán las normas de la Compañía Suministradora de Energía. Se cuidará en todo momento que los trazados guarden las:

- Maderamen, redes y nonas en número suficiente de modo que garanticen la seguridad de los operarios y transeúntes.

- Maquinaria, andamios, herramientas y todo el material auxiliar para llevar a cabo los trabajos de este tipo.

#### 27.3.13. Precauciones a adoptar

Las precauciones a adoptar durante la construcción de la obra serán las previstas por la Ordenanza de Seguridad e Higiene en el trabajo aprobada por O.M. de 9 de marzo de 1971 y R.D. 1627/97 de 24 de octubre.

### 27.4. Epígrafe 4: control de la obra

#### 27.4.1. Control del hormigón

Además de los controles establecidos en anteriores apartados y los que en cada momento dictamine la Dirección Facultativa de las obras, se realizarán todos los que prescribe la " INSTRUCCIÓN DE HORMIGÓN ESTRUCTURAL (EHE) ”:

- Resistencias característica  $F_{cu} = 250 \text{ kg/cm}^2$
- Consistencia plástica y acero B-400S.

El control de la obra será de nivel normal.

## 28. Anexos

### 28.1. Anexo 1: instrucción estructuras de hormigón EHE

#### 28.1.1. Cemento

Se realizarán los ensayos físicos, mecánicos y químicos previstos en el Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para la recepción de cementos RC-93.

Cuando el cemento este en posesión de un Sello o Marca de conformidad oficialmente homologado no se realizarán ensayos.

Cuando el cemento carezca de Sello o Marca de conformidad se comprobará al menos una vez cada tres meses de obra; como mínimo tres veces durante la ejecución de la obra; y cuando lo indique el Director de Obra, se comprobará al menos; pérdida al fuego, residuo insoluble, principio y fin de fraguado. Resistencia a compresión y estabilidad de volumen, según RC-97.

#### 28.1.2. Agua de amasado

Antes de comenzar la obra si no se tiene antecedentes del agua que vaya a utilizarse, si varían las condiciones de suministro, y cuando lo indique el Director de Obra se realizarán los ensayos del Art. correspondiente de la Instrucción EHE.

#### 28.1.3. Áridos

Antes de comenzar la obra si no se tienen antecedentes de los mismos, si varían las condiciones de suministro o se vayan a emplear para otras aplicaciones distintas a los ya sancionados por la práctica y siempre que lo indique el Director de Obra.

Se realizarán los ensayos de identificación mencionados en los Art. correspondientes a las condiciones fisicoquímicas, fisicomecánicas y granulométricas de la INSTRUCCIÓN DE HORMIGÓN ESTRUCTURAL (EHE)".

### 28.2. Anexo 2: condiciones acústicas de los edificios: nbe-ca-88

Características básicas exigibles a los materiales

El fabricante indicará la densidad aparente, y el coeficiente de absorción "f" para las frecuencias preferentes y el coeficiente medio de absorción "m" del material. Podrán exigirse además datos relativos a aquellas propiedades que puedan interesar en función del empleo y condiciones en que se vaya a colocar el material en cuestión.

#### 28.2.1. Características básicas exigibles a las soluciones constructivas

Aislamiento a ruido aéreo y a ruido de impacto. Se justificará preferentemente mediante ensayo, pudiendo no obstante utilizarse los métodos de cálculo detallados en el anexo 3 de la NBE-CA-88.

#### 28.2.2. Presentación, medidas y tolerancias

Los materiales de uso exclusivo como aislante o como acondicionantes acústicos, en sus distintas formas de presentación, se expedirán en embalajes que garanticen su transporte sin deterioro hasta su destino, debiendo indicarse en el etiquetado las características señaladas en los apartados anteriores.

Asimismo, el fabricante indicará en la documentación técnica de sus productos las dimensiones y tolerancias de los mismos. Para los materiales fabricados "in situ", se darán las

instrucciones correspondientes para su correcta ejecución, que deberá correr a cargo de personal especializado, de modo que se garanticen las propiedades especificadas por el fabricante.

#### 28.2.3. Garantía de las características

El fabricante garantizará las características acústicas básicas señaladas anteriormente. Esta garantía se materializará mediante las etiquetas o marcas que preceptivamente deben llevar los productos según el epígrafe anterior.

#### 28.2.4. Control, recepción y ensayo de los materiales

##### 28.2.4.1. Suministro de los materiales

Las condiciones de suministro de los materiales, serán objeto de convenio entre el consumidor y el fabricante, ajustándose a las condiciones particulares que figuren en el proyecto de ejecución.

Los fabricantes, para ofrecer la garantía de las características mínimas exigidas anteriormente en sus productos, realizarán los ensayos y controles que aseguren el autocontrol de su producción.

##### 28.2.4.2. Materiales con sello o marca de calidad

Los materiales que vengán avalados por sellos o marca de calidad, deberán tener la garantía por parte del fabricante del cumplimiento de los requisitos y características mínimas exigidas en esta Norma para que pueda realizarse su recepción sin necesidad de efectuar comprobaciones o ensayos.

##### 28.2.4.3. Composición de las unidades de inspección

Las unidades de inspección estarán formadas por materiales del mismo tipo y proceso de fabricación. La superficie de cada unidad de inspección, salvo acuerdo contrario, la fijará el consumidor.

##### 28.2.4.4. Toma de muestras

Las muestras para la preparación de probetas utilizadas en los ensayos se tomarán de productos de la unidad de inspección sacados al azar.

La forma y dimensión de las probetas serán las que señale para cada tipo de material la Norma de ensayo correspondiente.

##### 28.2.4.5. Normas de ensayo

Las normas UNE que a continuación se indican se emplearán para la realización de los ensayos correspondientes. Asimismo, se emplearán en su caso las Normas UNE que la Comisión Técnica de Aislamiento acústico del IRANOR CT-74, redacte con posterioridad a la publicación de esta NBE.

Ensayo de aislamiento a ruido aéreo: UNE 74040/I, UNE 74040/II, UNE 74040/III, UNE 74040/IV y UNE 74040/V.

Ensayo de aislamiento a ruido de impacto: UNE 74040/VI, UNE 74040/VII y UNE 74040/VIII.

Ensayo de materiales absorbentes acústicos: UNE 70041.

Ensayo de permeabilidad de aire en ventanas: UNE 85-20880.

#### 28.2.5. Laboratorios de ensayos

Los ensayos citados, de acuerdo con las Normas UNE establecidas, se realizarán en laboratorios reconocidos a este fin por el Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo.

### 28.3. Anexo 3: dB si seguridad en caso de incendio

#### 28.3.1. Exigencias básicas de seguridad en caso de incendio (si)

a) El objetivo del requisito básico “Seguridad en caso de incendio” consiste en reducir a límites aceptables el riesgo de que los usuarios de un edificio sufran daños derivados de un incendio de origen accidental, como consecuencia de las características de su proyecto, construcción, uso y mantenimiento.

b) Para satisfacer este objetivo, los edificios se proyectarán, construirán, mantendrán y utilizarán de forma que, en caso de incendio, se cumplan las exigencias básicas que se establecen en los apartados siguientes.

c) El Documento Básico DB-SI especifica parámetros objetivos y procedimientos cuyo cumplimiento asegura la satisfacción de las exigencias básicas y la superación de los niveles mínimos de calidad propios del requisito básico de seguridad en caso de incendio, excepto en el caso de los edificios, establecimientos y zonas de uso industrial a los que les sea de aplicación el “Reglamento de seguridad contra incendios en los establecimientos industriales”, en los cuales las exigencias básicas se cumplen mediante dicha aplicación.

##### 28.3.1.1. Exigencia básica SI 1 - Propagación interior

Se limitará el riesgo de propagación del incendio por el interior del edificio.

##### 28.3.1.2. Exigencia básica SI 2 - Propagación exterior

Se limitará el riesgo de propagación del incendio por el exterior, tanto en el edificio considerado como a otros edificios.

##### 28.3.1.3. Exigencia básica SI 3 – Evacuación de ocupantes

El edificio dispondrá de los medios de evacuación adecuados para que los ocupantes puedan abandonarlo o alcanzar un lugar seguro dentro del mismo en condiciones de seguridad.

##### 28.3.1.4. Exigencia básica SI 4 - Instalaciones de protección contra incendios

El edificio dispondrá de los equipos e instalaciones adecuados para hacer posible la detección, el control y la extinción del incendio, así como la transmisión de la alarma a los ocupantes.

##### 28.3.1.5. Exigencia básica SI 5 - Intervención de bomberos

Se facilitará la intervención de los equipos de rescate y de extinción de incendios.

##### 28.3.1.6. Exigencia básica SI 6 – Resistencia al fuego de la estructura

La estructura portante mantendrá su resistencia al fuego durante el tiempo necesario para que puedan cumplirse las anteriores exigencias básicas.

#### 28.3.2. Ámbito de aplicación

El ámbito de aplicación de este DB es el que se establece con carácter general para el conjunto del CTE en su artículo 2 (Parte I) excluyendo los edificios, establecimientos y

zonas de uso industrial a los que les sea de aplicación el “Reglamento de seguridad contra incendios en los establecimientos industriales”.



**UNIVERSIDAD  
DE LA RIOJA**

# DISEÑO DE UNA CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE BOMBEO

Trabajo fin de máster

**Estudio básico de seguridad y salud**

Autor: **Óscar Herreros Sáenz**

Máster universitario en Ingeniería Industrial

Marzo de 2019, Logroño (La Rioja)

Tutores del trabajo:

**Montserrat Mendoza Villena**, Departamento de Ingeniería Eléctrica.

**Pedro María Lara Santillán**, Departamento de Ingeniería Eléctrica.

## Índice de contenidos

29. Objeto del presente estudio básico .....	206
29.1. Objeto del estudio básico de seguridad y salud.....	206
29.2. Establecimiento posterior de un plan de seguridad y salud en la obra .....	206
30. Identificación de la obra.....	207
30.1. Tipo de obra .....	207
30.2. Situación del local de la obra .....	207
30.3. Denominación de la obra .....	207
31. Estudio básico de seguridad y salud.....	208
31.1. Plazo de ejecución estimado.....	208
31.2. Número de trabajadores .....	208
31.3. Relación resumida de los trabajos a realizar.....	208
32. Fases de obra con identificación de riesgos.....	209
32.1. Instalaciones eléctricas alta tensión .....	209
32.2. Instalaciones eléctricas baja tensión.....	209
32.3. Instalaciones mecánicas.....	210
33. Relación de medios humanos y técnicos previstos con identificación de riesgos. ....	211
33.1. Maquinaria .....	211
33.1.1. Bomba de hormigonado.....	211
33.1.2. Camión con caja basculante.....	211
33.1.3. Camión grúa .....	211
33.1.4. Carretillas elevadoras.....	212
33.1.5. Compresor.....	212
33.1.6. Cortadora de pavimento .....	212
33.1.7. Hormigonera .....	213
33.1.8. Martillo rompedor.....	213
33.2. Medios de transporte.....	213
33.2.1. Carretilla manual.....	213
33.3. Medios auxiliares .....	213
33.3.1. Andamios móviles .....	213
33.4. Herramientas.....	214
33.4.1. Atornilladores con y sin alimentador .....	214
33.4.2. Chequeador portátil de la instalación .....	214
33.4.3. Compresor.....	214
33.4.4. Grupo de soldadura.....	214
33.4.5. Martillo picador eléctrico.....	215



33.4.6. Pulidora .....	215
33.4.7. Sierra .....	215
33.4.8. Soldador sellador de juntas.....	216
33.4.9. Taladradora .....	216
33.4.10. Caja completa de herramientas de mecánico.....	216
33.4.11. Herramientas y equipos eléctricos para at y bt .....	216
33.4.12. Caja completa de herramientas dieléctricas homologadas .....	216
33.5. Tipos de energía a utilizar .....	216
33.5.1. Electricidad .....	216
33.5.2. Motores eléctricos .....	216
33.6. Materiales .....	217
33.6.1. Aguas .....	217
33.6.2. Anclajes de cable o barra de acero de alta resistencia .....	217
33.6.3. Apuntalamientos, cimbras .....	217
33.6.4. Bandejas, soportes .....	217
33.6.5. Barnices y pinturas .....	217
33.6.6. Cables de conducción de radiofrecuencia (coaxiales, bipolares) y accesorios .....	217
33.6.7. Cables tensores (vientos) .....	217
33.6.8. Cables, mangueras eléctricas y accesorios .....	217
33.6.9. Cajetines, regletas, anclajes, prensacables .....	218
33.6.10. Cemento .....	218
33.6.11. Chapas metálicas y accesorios .....	218
33.6.12. Chatarras .....	218
33.6.13. Cinta adhesiva .....	218
33.6.14. Cuñas y calzos.....	218
33.6.15. Disolventes, desengrasantes, desoxidantes.....	218
33.6.16. Escombros .....	218
33.6.17. Espárragos .....	218
33.6.18. Grapas, abrazaderas y tornillería .....	219
33.6.19. Guías, sopandas y herrajes.....	219
33.6.20. Hormigón, mortero .....	219
33.6.21. Junquillos de madera y metálicos, perfiles de goma .....	219
33.6.22. Juntas .....	219
33.6.23. Luminarias, soportes báculos, columnas, etc .....	219
33.6.24. Madera .....	219
33.6.25. Mallazo .....	219

33.6.26. Perfiles.....	219
33.6.27. Pinturas .....	220
33.6.28. Placas de distintos materiales (fibrocemento, policarbonato, PVC, chapa metálica, etc).....	220
33.6.29. Placas y plafones de revestimiento en escayolas y otros materiales ligeros (madera, etc).....	220
33.6.30. Separadores de junta .....	220
33.6.31. Siliconas, masillas y cementos químicos .....	220
33.6.32. Soportes, mástiles, torretas .....	220
33.6.33. Tableros.....	220
33.6.34. Tornillería .....	220
33.6.35. Trapos.....	221
33.6.36. Tuberías en distintos materiales (cobre, hierro, PVC, fibrocemento, hormigón) y accesorios.....	221
33.6.37. Tubos de conducción (corrugados, rígidos, etc.) .....	221
33.6.38. Tubos metálicos para inyección, conectores .....	221
33.6.39. Viguetas.....	221
33.6.40. Yesos, estopas y alambres.....	221
33.7. Mano de obra, medios humanos .....	221
34. Medidas de prevención de los riesgos .....	223
34.1. Protecciones colectivas .....	223
34.1.1. Generales .....	223
34.1.2. Instalaciones mecánicas.....	225
34.1.3. Instalaciones eléctricas alta tensión .....	226
34.1.4. Instalaciones eléctricas baja tensión.....	227
34.2. Equipos de protección individual (EPIS).....	228
34.2.1. Afecciones en la piel por dermatitis de contacto.....	228
34.2.2. Quemaduras físicas y químicas .....	228
34.2.3. Proyecciones de objetos y/o fragmentos .....	228
34.2.4. Ambiente pulvígeno .....	229
34.2.5. Aplastamientos.....	229
34.2.6. Atmósferas tóxicas, irritantes .....	229
34.2.7. Atrapamientos.....	229
34.2.8. Caída de objetos y/o de máquinas.....	229
34.2.9. Caída o colapso de andamios .....	229
34.2.10. Caídas de personas a distinto nivel .....	229
34.2.11. Caídas de personas al mismo nivel .....	229

34.2.12. Contactos eléctricos directos .....	229
34.2.13. Contactos eléctricos indirectos .....	229
34.2.14. Cuerpos extraños en ojos.....	229
34.2.15. Exposición a fuentes luminosas peligrosas .....	230
34.2.16. Golpe por rotura de cable .....	230
34.2.17. Golpes y/o cortes con objetos y/o maquinaria .....	230
34.2.18. Pisada sobre objetos punzantes.....	230
34.2.19. Inundaciones. ....	230
34.2.20. Vibraciones.....	230
34.2.21. Sobreesfuerzos .....	230
34.2.22. Ruido .....	230
34.2.23. Vuelco de máquinas y/o camiones .....	230
34.2.24. Caída de personas de altura .....	230
34.3. Protecciones especiales .....	231
34.3.1. Generales .....	231
34.3.2. Instalaciones eléctricas alta tensión .....	232
34.3.3. Instalaciones eléctricas baja tensión.....	233
34.4. Normativa a aplicar en las fases del estudio .....	233
34.4.1. Normativa general.....	233
34.4.2. Disposiciones mínimas de seguridad y de salud que deberán aplicarse en las obras .....	236
34.4.3. Instalaciones eléctricas alta y baja tensión .....	237
34.5. Mantenimiento preventivo .....	238
34.5.1. Vías de circulación y zonas peligrosas.....	238
34.5.2. Mantenimiento de la maquinaria y equipos .....	239
34.5.3. Mantenimiento de la maquinaria en el taller de obra .....	239
34.5.4. Mantenimiento de los neumáticos .....	239
34.5.5. Mantenimiento preventivo general .....	240
34.5.6. Instalaciones eléctricas alta tensión .....	241
34.5.7. Instalaciones eléctricas baja tensión.....	241

## Índice de tablas

Tabla 24. Niveles mínimos de iluminación por zonas de trabajo	224
---	-----

## 29. Objeto del presente estudio básico

### 29.1. Objeto del estudio básico de seguridad y salud

El presente Estudio Básico de Seguridad y Salud (E.B.S.S.) tiene como objeto servir de base para que las Empresas Contratistas y cualesquiera otras que participen en la ejecución de las obras a que hace referencia el proyecto en el que se encuentra incluido este Estudio, las lleven a efecto en las mejores condiciones que puedan alcanzarse respecto a garantizar el mantenimiento de la salud, la integridad física y la vida de los trabajadores de las mismas, cumpliendo así lo que ordena en su articulado el R.D. 1627/97 de 24 de Octubre (B.O.E. de 25/10/97).

### 29.2. Establecimiento posterior de un plan de seguridad y salud en la obra

El Estudio de Seguridad y Salud, debe servir también de base para que las Empresas Constructoras, Contratistas, Subcontratistas y trabajadores autónomos que participen en las obras, antes del comienzo de la actividad en las mismas, puedan elaborar un Plan de Seguridad y Salud tal y como indica el articulado del Real Decreto citado en el punto anterior.

En dicho Plan podrán modificarse algunos de los aspectos señalados en este Estudio con los requisitos que establece la mencionada normativa. El citado Plan de Seguridad y Salud es el que, en definitiva, permitirá conseguir y mantener las condiciones de trabajo necesarias para proteger la salud y la vida de los trabajadores durante el desarrollo de las obras que contempla este E.B.S.S.

## 30. Identificación de la obra

### 30.1. Tipo de obra

La obra, objeto de este E.B.S.S, consiste en la ejecución de las diferentes fases de las instalaciones para desarrollar posteriormente la actividad de: generación de la energía eléctrica.

### 30.2. Situación del local de la obra

- Situación: Lumbreras.
- Término Municipal: Lumbreras.
- Provincia: La Rioja
- Embalse: Pajares

### 30.3. Denominación de la obra

Instalaciones electromecánicas de una Central Hidroeléctrica.

## 31. Estudio básico de seguridad y salud

### 31.1. Plazo de ejecución estimado

El plazo de ejecución se estima en 24 meses.

### 31.2. Número de trabajadores

Durante la ejecución de las obras se estima la presencia en las mismas de 100 trabajadores aproximadamente.

### 31.3. Relación resumida de los trabajos a realizar

Mediante la ejecución de las fases de obra antes citadas que, componen la parte técnica del proyecto al que se adjunta este E.B.S.S., se pretende la realización de las instalaciones electromecánicas de la Central Hidroeléctrica.

## 32. Fases de obra con identificación de riesgos

Durante la ejecución de los trabajos se plantea la realización de las siguientes fases de obras con identificación de los riesgos que conllevan:

### 32.1. Instalaciones eléctricas alta tensión

- Afecciones en la piel por dermatitis de contacto.
- Quemaduras físicas y químicas.
- Proyecciones de objetos y/o fragmentos.
- Ambiente pulvígeno.
- Aplastamientos.
- Atrapamientos.
- Atropellos y/o colisiones.
- Caída de objetos y/o de máquinas.
- Caídas de personas a distinto nivel.
- Caídas de personas al mismo nivel.
- Contactos eléctricos directos.
- Cuerpos extraños en ojos.
- Desprendimientos.
- Exposición a fuentes luminosas peligrosas.
- Golpe por rotura de cable.
- Golpes y/o cortes con objetos y/o maquinaria.
- Pisada sobre objetos punzantes.
- Sobreesfuerzos.
- Ruido.
- Vuelco de máquinas y/o camiones.
- Caída de personas de altura.

### 32.2. Instalaciones eléctricas baja tensión.

- Afecciones en la piel por dermatitis de contacto.
- Quemaduras físicas y químicas.
- Proyecciones de objetos y/o fragmentos.
- Ambiente pulvígeno.
- Aplastamientos.
- Atrapamientos.
- Atropellos y/o colisiones.
- Caída de objetos y/o de máquinas.
- Caídas de personas a distinto nivel.
- Caídas de personas al mismo nivel.
- Contactos eléctricos directos.
- Cuerpos extraños en ojos.
- Desprendimientos.
- Exposición a fuentes luminosas peligrosas.
- Golpe por rotura de cable.
- Golpes y/o cortes con objetos y/o maquinaria.
- Pisada sobre objetos punzantes.
- Sobreesfuerzos.

- Ruido.
- Vuelco de máquinas y/o camiones.
- Caída de personas de altura.

### 32.3. Instalaciones mecánicas

- Afecciones en la piel por dermatitis de contacto.
- Quemaduras físicas y químicas.
- Proyecciones de objetos y/o fragmentos.
- Ambiente pulvígeno.
- Aplastamientos.
- Atrapamientos.
- Atropellos y/o colisiones.
- Caída de objetos y/o de máquinas.
- Caídas de personas a distinto nivel.
- Caídas de personas al mismo nivel.
- Contactos eléctricos directos.
- Cuerpos extraños en ojos.
- Desprendimientos.
- Exposición a fuentes luminosas peligrosas.
- Golpe por rotura de cable.
- Golpes y/o cortes con objetos y/o maquinaria.
- Pisada sobre objetos punzantes.
- Sobreesfuerzos.
- Ruido.
- Vuelco de máquinas y/o camiones.
- Caída de personas de altura.



### 33. Relación de medios humanos y técnicos previstos con identificación de riesgos.

Se describen, a continuación, los medios humanos y técnicos que se prevé utilizar para el desarrollo de este proyecto.

De conformidad con lo indicado en el R.D. 1627/97 de 24/10/97 se identifican los riesgos inherentes a tales medios técnicos.

#### 33.1. Maquinaria

##### 33.1.1. Bomba de hormigonado

- Afecciones en la piel por dermatitis de contacto.
- Quemaduras físicas y químicas.
- Proyecciones de objetos y/o fragmentos.
- Aplastamientos.
- Atrapamientos.
- Atropellos y/o colisiones.
- Caída de objetos y/o de máquinas.
- Caídas de personas a distinto nivel.
- Caídas de personas al mismo nivel.
- Contactos eléctricos directos.
- Cuerpos extraños en ojos.
- Golpes y/o cortes con objetos y/o maquinaria.
- Sobreesfuerzos.
- Ruido.
- Vuelco de máquinas y/o camiones.

##### 33.1.2. Camión con caja basculante

- Afecciones en la piel por dermatitis de contacto.
- Quemaduras físicas y químicas.
- Aplastamientos.
- Atrapamientos.
- Atropellos y/o colisiones.
- Caída de objetos y/o de máquinas.
- Caídas de personas a distinto nivel.
- Contactos eléctricos directos.
- Golpes y/o cortes con objetos y/o maquinaria.
- Sobreesfuerzos.
- Ruido.
- Vuelco de máquinas y/o camiones.

##### 33.1.3. Camión grúa

- Proyecciones de objetos y/o fragmentos.
- Aplastamientos.
- Atrapamientos.
- Atropellos y/o colisiones.
- Caída de objetos y/o de máquinas.

- Caídas de personas a distinto nivel.
- Contactos eléctricos directos.
- Desprendimientos.
- Golpe por rotura de cable.
- Golpes y/o cortes con objetos y/o maquinaria.
- Vibraciones.
- Sobreesfuerzos.
- Ruido.
- Vuelco de máquinas y/o camiones.

#### 33.1.4. Carretillas elevadoras

- Proyecciones de objetos y/o fragmentos.
- Ambiente pulvígeno.
- Aplastamientos.
- Atrapamientos.
- Atropellos y/o colisiones.
- Caída de objetos y/o de máquinas.
- Caídas de personas al mismo nivel.
- Cuerpos extraños en ojos.
- Golpe por rotura de cable.
- Golpes y/o cortes con objetos y/o maquinaria.
- Vibraciones.
- Sobreesfuerzos.
- Ruido.
- Vuelco de máquinas y/o camiones.

#### 33.1.5. Compresor

- Atrapamientos.
- Contactos eléctricos directos.
- Contactos eléctricos indirectos.
- Cuerpos extraños en ojos.
- Explosiones.
- Golpes y/o cortes con objetos y/o maquinaria.
- Sobreesfuerzos.
- Ruido.

#### 33.1.6. Cortadora de pavimento

- Afecciones en la piel por dermatitis de contacto.
- Quemaduras físicas y químicas.
- Proyecciones de objetos y/o fragmentos.
- Ambiente pulvígeno.
- Caída de objetos y/o de máquinas.
- Caídas de personas al mismo nivel.
- Contactos eléctricos directos.
- Contactos eléctricos indirectos.
- Cuerpos extraños en ojos.
- Golpes y/o cortes con objetos y/o maquinaria.

- Pisada sobre objetos punzantes.
- Inhalación de sustancias tóxicas.
- Sobreesfuerzos.
- Ruido.

#### 33.1.7. Hormigonera

- Afecciones en la piel por dermatitis de contacto.
- Quemaduras físicas y químicas.
- Proyecciones de objetos y/o fragmentos.
- Atrapamientos.
- Caídas de personas al mismo nivel.
- Contactos eléctricos directos.
- Contactos eléctricos indirectos.
- Cuerpos extraños en ojos.
- Golpes y/o cortes con objetos y/o maquinaria.
- Sobreesfuerzos.
- Ruido.
- Vuelco de máquinas y/o camiones.

#### 33.1.8. Martillo rompedor

- Afecciones en la piel por dermatitis de contacto.
- Quemaduras físicas y químicas.
- Proyecciones de objetos y/o fragmentos.
- Ambiente pulvígeno.
- Atrapamientos.
- Caída de objetos y/o de máquinas.
- Contactos eléctricos directos.
- Contactos eléctricos indirectos.
- Cuerpos extraños en ojos.
- Golpes y/o cortes con objetos y/o maquinaria.
- Vibraciones.
- Sobreesfuerzos.
- Ruido.

### 33.2. Medios de transporte

#### 33.2.1. Carretilla manual

- Aplastamientos.
- Atrapamientos.
- Caída de objetos y/o de máquinas.
- Golpes y/o cortes con objetos y/o maquinaria.
- Sobreesfuerzos.

### 33.3. Medios auxiliares

#### 33.3.1. Andamios móviles

- Proyecciones de objetos y/o fragmentos.
- Aplastamientos.
- Atrapamientos. Atropellos y/o colisiones.

- Caída de objetos y/o de máquinas.
- Caída o colapso de andamios.
- Caídas de personas a distinto nivel.
- Caídas de personas al mismo nivel.
- Golpes y/o cortes con objetos y/o maquinaria.
- Pisada sobre objetos punzantes.
- Sobreesfuerzos.
- Caída de personas de altura.

### 33.4. Herramientas

De entre las distintas herramientas utilizables cabe destacar:

#### 33.4.1. Atornilladores con y sin alimentador

- Quemaduras físicas y químicas
- Proyecciones de objetos y/o fragmentos.
- Atrapamientos.
- Caída de objetos y/o de máquinas.
- Contactos eléctricos directos.
- Contactos eléctricos indirectos.
- Cuerpos extraños en ojos.
- Golpes y/o cortes con objetos y/o maquinaria.
- Sobreesfuerzos.

#### 33.4.2. Chequeador portátil de la instalación

- Caída de objetos y/o de máquinas
- Contactos eléctricos directos.
- Contactos eléctricos indirectos.

#### 33.4.3. Compresor

- Atrapamientos
- Contactos eléctricos directos.
- Contactos eléctricos indirectos.
- Cuerpos extraños en ojos.
- Explosivos.
- Golpes y/o cortes con objetos y/o maquinaria.
- Sobreesfuerzos
- Ruido.

#### 33.4.4. Grupo de soldadura

- Quemaduras físicas y químicas
- Proyecciones de objetos y/o fragmentos.
- Atmosfera anaerobia producida por gases inertes.
- Atmosferas tóxicas, irritantes.
- Caída de objetos y/o de máquinas.
- Contactos eléctricos directos.
- Contactos eléctricos indirectos.
- Cuerpos extraños en ojos.

- Exposición a fuentes luminosas peligrosas.
- Golpes y/o cortes con objetos y/o maquinaria.
- Incendios.
- Inhalación de sustancias tóxicas.

#### 33.4.5. Martillo picador eléctrico

- Proyecciones de objetos y/o fragmentos.
- Aplastamientos
- Atrapamientos
- Caída de objetos y/o de máquinas.
- Contactos eléctricos directos.
- Contactos eléctricos indirectos.
- Cuerpos extraños en ojos.
- Derrumbamientos
- Desprendimientos
- Golpes y/o cortes con objetos y/o maquinaria
- Vibraciones
- Sobreesfuerzos.
- Ruidos

#### 33.4.6. Pulidora

- Quemaduras físicas y químicas
- Proyecciones de objetos y/o fragmentos.
- Ambiente pulvígeno.
- Atrapamientos.
- Caída de objetos y/o de máquinas.
- Contactos eléctricos directos.
- Contactos eléctricos indirectos.
- Cuerpos extraños en ojos.
- Golpes y/o cortes con objetos y/o maquinaria.
- Pisada sobre objetos punzantes.
- Incendios.
- Inhalación de sustancias tóxicas.
- Sobreesfuerzos.
- Ruido.

#### 33.4.7. Sierra

- Proyecciones de objetos y/o fragmentos.
- Ambiente pulvígeno.
- Atrapamientos.
- Caída de objetos y/o de máquinas.
- Contactos eléctricos directos.
- Contactos eléctricos indirectos.
- Cuerpos extraños en ojos.
- Golpes y/o cortes con objetos y/o maquinaria.
- Sobreesfuerzos.

#### 33.4.8. Soldador sellador de juntas

- Afecciones en la piel por dermatitis de contacto.
- Quemaduras físicas y químicas.
- Caída de objetos y/o de máquinas.
- Contactos eléctricos directos.
- Contactos eléctricos indirectos.
- Golpes y/o cortes con objetos y/o maquinaria.
- Sobreesfuerzos.

#### 33.4.9. Taladradora

- Proyecciones de objetos y/o fragmentos.
- Ambiente pulvígeno.
- Atrapamientos.
- Caída de objetos y/o de máquinas.
- Contactos eléctricos directos.
- Contactos eléctricos indirectos.
- Cuerpos extraños en ojos.
- Golpes y/o cortes con objetos y/o maquinaria.
- Sobreesfuerzos.

#### 33.4.10. Caja completa de herramientas de mecánico

- Caída de objetos y/o de máquinas.
- Golpes y/o cortes con objetos y/o maquinaria.

#### 33.4.11. Herramientas y equipos eléctricos para at y bt

- Caída de objetos y/o equipos.
- Golpes y/o cortes con objetos y/o equipos.
- Contactos eléctricos directos e indirectos.

#### 33.4.12. Caja completa de herramientas dieléctricas homologadas

- Caída de objetos y/o de máquinas.
- Golpes y/o cortes con objetos y/o maquinaria.

### 33.5. Tipos de energía a utilizar

#### 33.5.1. Electricidad

- Quemaduras físicas y químicas.
- Contactos eléctricos directos.
- Contactos eléctricos indirectos.
- Exposición a fuentes luminosas peligrosas.
- Incendios.

#### 33.5.2. Motores eléctricos

- Quemaduras físicas y químicas.
- Caída de objetos y/o de máquinas.
- Contactos eléctricos directos.
- Contactos eléctricos indirectos.
- Golpes y/o cortes con objetos y/o maquinaria.

- Incendios.
- Sobreesfuerzos.

### 33.6. Materiales

#### 33.6.1. Aguas

- Inundaciones.

#### 33.6.2. Anclajes de cable o barra de acero de alta resistencia

- Caída de objetos y/o de máquinas.
- Caídas de personas al mismo nivel.
- Golpes y/o cortes con objetos y/o maquinaria.
- Sobreesfuerzos.

#### 33.6.3. Apuntalamientos, cimbras

- Caída de objetos y/o de máquinas.
- Golpes y/o cortes con objetos y/o maquinaria.
- Sobreesfuerzos.

#### 33.6.4. Bandejas, soportes

- Caída de objetos y/o de máquinas.
- Golpes y/o cortes con objetos y/o maquinaria.
- Sobreesfuerzos.

#### 33.6.5. Barnices y pinturas

- Atmósferas tóxicas, irritantes.
- Incendios.
- Inhalación de sustancias tóxicas.

#### 33.6.6. Cables de conducción de radiofrecuencia (coaxiales, bipolares) y accesorios

- Caída de objetos y/o de máquinas.
- Caídas de personas al mismo nivel.
- Golpes y/o cortes con objetos y/o maquinaria.

Sobreesfuerzos.

#### 33.6.7. Cables tensores (vientos)

- Caída de objetos y/o de máquinas.
- Caídas de personas a distinto nivel.
- Caídas de personas al mismo nivel.
- Golpe por rotura de cable.
- Golpes y/o cortes con objetos y/o maquinaria.
- Sobreesfuerzos.

#### 33.6.8. Cables, mangueras eléctricas y accesorios

- Caída de objetos y/o de máquinas.
- Golpes y/o cortes con objetos y/o maquinaria.
- Sobreesfuerzos.

#### 33.6.9. Cajetines, regletas, anclajes, prensacables

- Caída de objetos y/o de máquinas.
- Golpes y/o cortes con objetos y/o maquinaria.

#### 33.6.10. Cemento

- Afecciones en la piel por dermatitis de contacto.
- Quemaduras físicas y químicas.
- Ambiente pulvígeno.
- Sobreesfuerzos.

#### 33.6.11. Chapas metálicas y accesorios

- Aplastamientos.
- Atrapamientos.
- Caída de objetos y/o de máquinas.
- Golpes y/o cortes con objetos y/o maquinaria.
- Sobreesfuerzos.

#### 33.6.12. Chatarras

- Caída de objetos y/o de máquinas.
- Golpes y/o cortes con objetos y/o maquinaria.
- Pisada sobre objetos punzantes.
- Sobreesfuerzos.

#### 33.6.13. Cinta adhesiva

#### 33.6.14. Cuñas y calzos

- Caída de objetos y/o de máquinas.
- Golpes y/o cortes con objetos y/o maquinaria.
- Sobreesfuerzos.

#### 33.6.15. Disolventes, desengrasantes, desoxidantes

- Quemaduras físicas y químicas.
- Atmósferas tóxicas, irritantes.
- Incendios.
- Inhalación de sustancias tóxicas.

#### 33.6.16. Escombros

- Afecciones en la piel por dermatitis de contacto.
- Ambiente pulvígeno.
- Aplastamientos.
- Caída de objetos y/o de máquinas.
- Golpes y/o cortes con objetos y/o maquinaria.
- Sobreesfuerzos.

#### 33.6.17. Espárragos

- Caída de objetos y/o de máquinas.
- Caídas de personas al mismo nivel.
- Golpes y/o cortes con objetos y/o maquinaria.
- Pisada sobre objetos punzantes.



#### 33.6.18. Grapas, abrazaderas y tornillería

- Caída de objetos y/o de máquinas.
- Golpes y/o cortes con objetos y/o maquinaria.
- Pisada sobre objetos punzantes.

#### 33.6.19. Guías, sopandas y herrajes

- Caída de objetos y/o de máquinas.
- Golpes y/o cortes con objetos y/o maquinaria.
- Pisada sobre objetos punzantes.
- Sobreesfuerzos.

#### 33.6.20. Hormigón, mortero

- Afecciones en la piel por dermatitis de contacto.
- Proyecciones de objetos y/o fragmentos.
- Cuerpos extraños en ojos.

#### 33.6.21. Junquillos de madera y metálicos, perfiles de goma

- Caída de objetos y/o de máquinas.
- Golpes y/o cortes con objetos y/o maquinaria.

#### 33.6.22. Juntas

- Caída de objetos y/o de máquinas.
- Golpes y/o cortes con objetos y/o maquinaria.

#### 33.6.23. Luminarias, soportes báculos, columnas, etc

- Proyecciones de objetos y/o fragmentos.
- Aplastamientos.
- Atrapamientos. Contactos eléctricos directos.
- Contactos eléctricos indirectos.
- Golpes y/o cortes con objetos y/o maquinaria.
- Sobreesfuerzos.

#### 33.6.24. Madera

- Caída de objetos y/o de máquinas.
- Golpes y/o cortes con objetos y/o maquinaria.
- Incendios.
- Sobreesfuerzos.

#### 33.6.25. Mallazo

- Caída de objetos y/o de máquinas.
- Golpes y/o cortes con objetos y/o maquinaria.
- Pisada sobre objetos punzantes.
- Sobreesfuerzos.

#### 33.6.26. Perfiles

- Caída de objetos y/o de máquinas.
- Golpes y/o cortes con objetos y/o maquinaria.
- Sobreesfuerzos.

#### 33.6.27. Pinturas

- Atmósferas tóxicas, irritantes.
- Caída de objetos y/o de máquinas.
- Golpes y/o cortes con objetos y/o maquinaria.
- Incendios.

#### 33.6.28. Placas de distintos materiales (fibrocemento, policarbonato, PVC, chapa metálica, etc

- Ambiente pulvígeno.
- Atrapamientos.
- Caída de objetos y/o de máquinas.
- Golpes y/o cortes con objetos y/o maquinaria.
- Inhalación de sustancias tóxicas.
- Sobreesfuerzos.

#### 33.6.29. Placas y plafones de revestimiento en escayolas y otros materiales ligeros (madera, etc)

- Quemaduras físicas y químicas.
- Ambiente pulvígeno.
- Atrapamientos.
- Caída de objetos y/o de máquinas.
- Contactos eléctricos directos.
- Sobreesfuerzos.

#### 33.6.30. Separadores de junta

- Caída de objetos y/o de máquinas.
- Golpes y/o cortes con objetos y/o maquinaria.

#### 33.6.31. Siliconas, masillas y cementos químicos

- Quemaduras físicas y químicas.
- Atmósferas tóxicas, irritantes.
- Inhalación de sustancias tóxicas.

#### 33.6.32. Soportes, mástiles, torretas

- Caída de objetos y/o de máquinas.
- Golpes y/o cortes con objetos y/o maquinaria.
- Sobreesfuerzos.

#### 33.6.33. Tableros

- Caída de objetos y/o de máquinas.
- Golpes y/o cortes con objetos y/o maquinaria.
- Incendios.
- Sobreesfuerzos.

#### 33.6.34. Tornillería

- Caída de objetos y/o de máquinas.
- Golpes y/o cortes con objetos y/o maquinaria.
- Pisada sobre objetos punzantes.

- Sobreesfuerzos.

#### 33.6.35. Trapos

- Caídas de personas al mismo nivel.
- Incendios.

#### 33.6.36. Tuberías en distintos materiales (cobre, hierro, PVC, fibrocemento, hormigón) y accesorios

- Aplastamientos.
- Atrapamientos.
- Caída de objetos y/o de máquinas.
- Caídas de personas al mismo nivel.
- Golpes y/o cortes con objetos y/o maquinaria.
- Sobreesfuerzos.

#### 33.6.37. Tubos de conducción (corrugados, rígidos, etc.)

- Aplastamientos.
- Atrapamientos.
- Caída de objetos y/o de máquinas.
- Caídas de personas al mismo nivel.
- Golpes y/o cortes con objetos y/o maquinaria.
- Sobreesfuerzos.

#### 33.6.38. Tubos metálicos para inyección, conectores

- Aplastamientos.
- Atrapamientos.
- Caída de objetos y/o de máquinas.
- Caídas de personas al mismo nivel.
- Golpes y/o cortes con objetos y/o maquinaria.
- Sobreesfuerzos.

#### 33.6.39. Viguetas

- Aplastamientos.
- Atrapamientos.
- Caída de objetos y/o de máquinas.
- Golpes y/o cortes con objetos y/o maquinaria.
- Sobreesfuerzos.

#### 33.6.40. Yesos, estopas y alambres

- Quemaduras físicas y químicas.
- Caída de objetos y/o de máquinas.
- Golpes y/o cortes con objetos y/o maquinaria.
- Sobreesfuerzos.

#### 33.7. Mano de obra, medios humanos

- Oficiales mecánicos
- Oficiales electricistas
- Ayudantes mecánicos.

- Ayudantes electricistas.
- Encargados.
- Operadores de maquinaria especializada
- Peones
- Responsable técnico

## 34. Medidas de prevención de los riesgos

### 34.1. Protecciones colectivas

#### 34.1.1. Generales

##### 34.1.1.1. Señalización

El Real Decreto 485/1997, de 14 de abril por el que se establecen las disposiciones mínimas de carácter general relativas a la señalización de seguridad y salud en el trabajo, indica que deberá utilizarse una señalización de seguridad y salud a fin de:

- a) Llamar la atención de los trabajadores sobre la existencia de determinados riesgos, prohibiciones u obligaciones.
- b) Alertar a los trabajadores cuando se produzca una determinada situación de emergencia que requiera medidas urgentes de protección o evacuación.
- c) Facilitar a los trabajadores la localización e identificación de determinados medios o instalaciones de protección, evacuación, emergencia o primeros auxilios.
- d) Orientar o guiar a los trabajadores que realicen determinadas maniobras peligrosas.

##### 34.1.1.2. Señales de advertencia

- Forma: Triangular
- Color de fondo: Amarillo
- Color de contraste: Negro
- Color de Símbolo: Negro

##### 34.1.1.3. Señales de prohibición

- Forma: Redonda
- Color de fondo: Blanco
- Color de contraste: Rojo
- Color de Símbolo: Negro

##### 34.1.1.4. Señales de obligación

- Forma: Redonda
- Color de fondo: Azul
- Color de Símbolo: Blanco

##### 34.1.1.5. Señales relativas a los equipos de lucha contra incendios:

- Forma: Rectangular o cuadrada
- Color de fondo: Rojo
- Color de Símbolo: Blanco

##### 34.1.1.6. Señales de salvamento o socorro

- Forma: Rectangular o cuadrada
- Color de fondo: Verde
- Color de Símbolo: Blanco

##### 34.1.1.7. Cinta de señalización

En caso de señalizar obstáculos, zonas de caída de objetos, caída de personas a distinto nivel, choques, golpes, etc., se señalizará con los antes dichos paneles o bien se delimitará la

zona de exposición al riesgo con cintas de tela o materiales plásticos con franjas alternadas oblicuas en color amarillo y negro, inclinadas 45º.

#### 34.1.1.8. Cinta de delimitación de zona de trabajo

Las zonas de trabajo se delimitarán con cintas de franjas alternas verticales de colores blanco y rojo.

#### 34.1.1.9. Iluminación (anexo IV del R.D. 486/97 de 14/4/97)

Zonas o partes del lugar de trabajo con:	Nivel mínimo de iluminación (lux)
<b>Baja exigencia visual</b>	100
<b>Exigencia visual moderada</b>	200
<b>Exigencia visual alta</b>	500
<b>Exigencia visual muy alta</b>	1000
<b>Áreas o locales de uso ocasional</b>	25
<b>Áreas o locales de uso habitual</b>	100
<b>Vías de circulación de uso ocasional</b>	25
<b>Vías de circulación de uso habitual</b>	50

*Tabla 24. Niveles mínimos de iluminación por zonas de trabajo*

Estos niveles mínimos deberán duplicarse cuando concurren las siguientes circunstancias:

- a) En áreas o locales de uso general y en las vías de circulación, cuando por sus características, estado u ocupación, existan riesgos apreciables de caídas, choque u otros accidentes.
- b) En las zonas donde se efectúen tareas, y un error de apreciación visual durante la realización de las mismas, pueda suponer un peligro para el trabajador que las ejecuta o para terceros.

Los accesorios de iluminación exterior serán estancos a la humedad. Portátiles manuales de alumbrado eléctrico: 24 voltios. Prohibición total de utilizar iluminación de llama.

Protección de personas en instalación eléctrica Instalación eléctrica ajustada al Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión y hojas de interpretación, certificada por instalador autorizado.

En aplicación de lo indicado en el apartado 3A del Anexo IV al R.D. 1627/97 de 24/10/97, la instalación eléctrica deberá satisfacer, además, las dos siguientes condiciones:

Deberá proyectarse, realizarse y utilizarse de manera que no entrañe peligro de incendio ni de explosión y de modo que las personas estén debidamente protegidas contra los riesgos de electrocución por contacto directo o indirecto.

El proyecto, la realización y la elección del material y de los dispositivos de protección deberán tener en cuenta el tipo y la potencia de la energía suministrada, las condiciones de los factores externos y la competencia de las personas que tengan acceso a partes de la instalación.

Los cables serán adecuados a la carga que han de soportar, conectados a las bases mediante clavijas normalizadas, blindados e interconexionados con uniones antihumedad y

antichoque. Los fusibles blindados y calibrados según la carga máxima a soportar por los interruptores.

Continuidad de la toma de tierra en las líneas de suministro interno de obra con un valor máximo de la resistencia de 80 Ohmios. Las máquinas fijas dispondrán de toma de tierra independiente.

Las tomas de corriente estarán provistas de conductor de toma a tierra y serán blindadas.

Todos los circuitos de suministro a las máquinas e instalaciones de alumbrado estarán protegidos por fusibles blindados o interruptores magnetotérmicos y disyuntores diferenciales de alta sensibilidad en perfecto estado de funcionamiento.

Tajos en condiciones de humedad muy elevadas: Es preceptivo el empleo de transformador portátil de seguridad de 24 V o protección mediante transformador de separación de circuitos.

Se acogerá a lo dispuesto en la MIBT 028 (locales mojados).

#### 34.1.1.10. Señales óptico-acústicas de vehículos de obra

Las máquinas autoportantes que puedan intervenir en las operaciones de manutención deberán disponer de:

- Una bocina o claxon de señalización acústica cuyo nivel sonoro sea superior al ruido ambiental, de manera que sea claramente audible; si se trata de señales intermitentes, la duración, intervalo y agrupación de los impulsos deberá permitir su correcta identificación, Anexo IV del R.D. 485/97 de 14/4/97.
- Señales sonoras o luminosas (previsiblemente ambas a la vez) para indicación de la maniobra de marcha atrás, anexo I del R.D. 1215/97 de 18/7/97.
- Los dispositivos de emisión de señales luminosas para uso en caso de peligro grave deberán ser objeto de revisiones especiales o ir provistos de una bombilla auxiliar.
- En la parte más alta de la cabina dispondrán de un señalizado rotativo luminoso destelleante de color ámbar para alertar de su presencia en circulación viaria.
- Dos focos de posición y cruce en la parte delantera y dos pilotos luminosos de color rojo detrás.
- Dispositivo de balizamiento de posición y preseñalización (lamas, conos, cintas, mallas, lámparas destelleantes, etc.)

#### 34.1.2. Instalaciones mecánicas

##### 34.1.2.1. Protección contra caídas de altura de personas u objetos

El riesgo de caída de altura de personas (precipitación, caída al vacío) es contemplado por el Anexo II del R.D. 1627/97 de 24 de octubre de 1997 como riesgo especial para la seguridad y salud de los trabajadores, por ello, de acuerdo con los artículos 5.6 y 6.2 del mencionado Real Decreto se adjuntan las medidas preventivas específicas adecuadas.

##### 34.1.2.2. Barandillas de protección

Se utilizarán como cerramiento provisional de huecos verticales y perimetrales de plataformas de trabajo, susceptibles de permitir la caída de personas u objetos desde una altura superior a 2 m; estarán constituidas por balaustre, rodapié de 20 cm de alzada, travesaño

intermedio y pasamanos superior, de 90 cm de altura, sólidamente anclados todos sus elementos entre sí y serán lo suficientemente resistentes.

#### 34.1.2.3. Pasarelas

En aquellas zonas que sea necesario el paso de peatones sobre las zanjas, pequeños desniveles y obstáculos, originados por los trabajos se realizarán mediante pasarelas. Serán preferiblemente prefabricadas de metal, o en su defecto realizadas "in situ", de una anchura mínima de 1 m, dotada en sus laterales de barandilla de seguridad reglamentaria: La plataforma será capaz de resistir 300 Kg de peso y estará dotada de guirnalda de iluminación nocturna, si se encuentra afectando a la vía pública.

#### 34.1.2.4. Escaleras portátiles

Tendrán la resistencia y los elementos de apoyo y sujeción necesarios para que su utilización en las condiciones requeridas no suponga un riesgo de caída, por rotura o desplazamiento de las mismas.

Las escaleras que tengan que utilizarse en obra habrán de ser preferentemente de aluminio o hierro, a no ser posible se utilizarán de madera, pero con los peldaños ensamblados y no clavados. Estará dotadas de zapatas, sujetas en la parte superior, y sobrepasarán en un metro el punto de apoyo superior.

Previamente a su utilización se elegirá el tipo de escalera a utilizar, en función de la tarea a la que esté destinada y se asegurará su estabilidad. No se emplearán escaleras excesivamente cortas o largas, ni empalmadas.

#### 34.1.2.5. Accesos y zonas de paso del personal, orden y limpieza

Las aperturas de huecos horizontales sobre los forjados, deben condenarse con un tablero resistente, red, mallazo electrosoldado o elemento equivalente cuando no se esté trabajando en sus inmediaciones con independencia de su profundidad o tamaño.

#### 34.1.2.6. Eslingas de cadena

El fabricante deberá certificar que disponen de un factor de seguridad 5 sobre su carga nominal máxima y que los ganchos son de alta seguridad (pestillo de cierre automático al entrar en carga). El alargamiento de un 5% de un eslabón significa la caducidad inmediata de la eslinga.

#### 34.1.2.7. Eslinga de cable

A la carga nominal máxima se le aplica un factor de seguridad 6, siendo su tamaño y diámetro apropiado al tipo de maniobras a realizar; las gazas estarán protegidas por guardacabos metálicos fijados mediante casquillos prensados y los ganchos serán también de alta seguridad. La rotura del 10 % de los hilos en un segmento superior a 8 veces el diámetro del cable o la rotura de un cordón significa la caducidad inmediata de la eslinga.

### 34.1.3. Instalaciones eléctricas alta tensión

#### 34.1.3.1. Protección contra caídas de altura de personas u objetos

El riesgo de caída de altura de personas (precipitación, caída al vacío) es contemplado por el Anexo II del R.D. 1627/97 de 24 de Octubre de 1997 como riesgo especial para la seguridad y salud de los trabajadores, por ello, de acuerdo con los artículos 5.6 y 6.2 del mencionado Real Decreto se adjuntan las medidas preventivas específicas adecuadas.



#### 34.1.3.2. Barandillas de protección

Se utilizarán como cerramiento provisional de huecos verticales y perimetrales de plataformas de trabajo, susceptibles de permitir la caída de personas u objetos desde una altura superior a 2 m; estarán constituidas por balaustre, rodapié de 20 cm de alzada, travesaño intermedio y pasamanos superior, de 90 cm de altura, sólidamente anclados todos sus elementos entre sí y serán lo suficientemente resistentes.

#### 34.1.3.3. Pasarelas

En aquellas zonas que sea necesario el paso de peatones sobre las zanjas, pequeños desniveles y obstáculos, originados por los trabajos se realizarán mediante pasarelas. Serán preferiblemente prefabricadas de metal, o en su defecto realizadas "in situ", de una anchura mínima de 1 m, dotada en sus laterales de barandilla de seguridad reglamentaria: La plataforma será capaz de resistir 300 Kg de peso y estará dotada de guirnaldas de iluminación nocturna, si se encuentra afectando a la vía pública.

#### 34.1.3.4. Escaleras portátiles

Tendrán la resistencia y los elementos de apoyo y sujeción necesarios para que su utilización en las condiciones requeridas no suponga un riesgo de caída, por rotura o desplazamiento de las mismas. Las escaleras que tengan que utilizarse en obra habrán de ser preferentemente de aluminio o hierro, a no ser posible se utilizarán de madera, pero con los peldaños ensamblados y no clavados. Estará dotadas de zapatas, sujetas en la parte superior, y sobrepasarán en un metro el punto de apoyo superior.

Previamente a su utilización se elegirá el tipo de escalera a utilizar, en función de la tarea a la que esté destinada y se asegurará su estabilidad. No se emplearán escaleras excesivamente cortas o largas, ni empalmadas.

#### 34.1.3.5. Accesos y zonas de paso del personal, orden y limpieza

Las aperturas de huecos horizontales sobre los forjados, deben condenarse con un tablero resistente, red, mallazo electrosoldado o elemento equivalente cuando no se esté trabajando en sus inmediaciones con independencia de su profundidad o tamaño.

#### 34.1.3.6. Eslingas de cadena

El fabricante deberá certificar que disponen de un factor de seguridad 5 sobre su carga nominal máxima y que los ganchos son de alta seguridad (pestillo de cierre automático al entrar en carga). El alargamiento de un 5% de un eslabón significa la caducidad inmediata de la eslinga.

#### 34.1.3.7. Eslinga de cable

A la carga nominal máxima se le aplica un factor de seguridad 6, siendo su tamaño y diámetro apropiado al tipo de maniobras a realizar; las gomas estarán protegidas por guardacabos metálicos fijados mediante casquillos prensados y los ganchos serán también de alta seguridad. La rotura del 10 % de los hilos en un segmento superior a 8 veces el diámetro del cable o la rotura de un cordón significa la caducidad inmediata de la eslinga.

### 34.1.4. Instalaciones eléctricas baja tensión

#### 34.1.4.1. Protección contra caídas de altura de personas u objetos

El riesgo de caída de altura de personas (precipitación, caída al vacío) es contemplado por el Anexo II del R.D. 1627/97 de 24 de Octubre de 1997 como riesgo especial para la seguridad y salud de los trabajadores, por ello, de acuerdo con los artículos 5.6 y 6.2 del mencionado Real Decreto se adjuntan las medidas preventivas específicas adecuadas.

#### 34.1.4.2. Barandillas de protección

Se utilizarán como cerramiento provisional de huecos verticales y perimetrales de plataformas de trabajo, susceptibles de permitir la caída de personas u objetos desde una altura superior a 2 m; estarán constituidas por balaustre, rodapié de 20 cm de alzada, travesaño intermedio y pasamanos superior, de 90 cm de altura, sólidamente anclados todos sus elementos entre sí y serán lo suficientemente resistentes.

#### 34.1.4.3. Pasarelas

En aquellas zonas que sea necesario el paso de peatones sobre las zanjas, pequeños desniveles y obstáculos, originados por los trabajos se realizarán mediante pasarelas. Serán preferiblemente prefabricadas de metal, o en su defecto realizadas "in situ", de una anchura mínima de 1 m, dotada en sus laterales de barandilla de seguridad reglamentaria: La plataforma será capaz de resistir 300 Kg de peso y estará dotada de guirnalda de iluminación nocturna, si se encuentra afectando a la vía pública.

#### 34.1.4.4. Escaleras portátiles

Tendrán la resistencia y los elementos de apoyo y sujeción necesarios para que su utilización en las condiciones requeridas no suponga un riesgo de caída, por rotura o desplazamiento de las mismas. Las escaleras que tengan que utilizarse en obra habrán de ser preferentemente de aluminio o hierro, a no ser posible se utilizarán de madera, pero con los peldaños ensamblados y no clavados. Estará dotadas de zapatas, sujetas en la parte superior, y sobrepasarán en un metro el punto de apoyo superior.

Previamente a su utilización se elegirá el tipo de escalera a utilizar, en función de la tarea a la que esté destinada y se asegurará su estabilidad. No se emplearán escaleras excesivamente cortas o largas, ni empalmadas.

#### 34.1.4.5. Accesos y zonas de paso del personal, orden y limpieza

Las aperturas de huecos horizontales sobre los forjados, deben condenarse con un tablero resistente, red, mallazo electrosoldado o elemento equivalente cuando no se esté trabajando en sus inmediaciones con independencia de su profundidad o tamaño.

### 34.2. Equipos de protección individual (EPIS)

#### 34.2.1. Afecciones en la piel por dermatitis de contacto

- Guantes de protección frente a abrasión
- Guantes de protección frente a agentes químicos

#### 34.2.2. Quemaduras físicas y químicas

- Guantes de protección frente a abrasión
- Guantes de protección frente a agentes químicos
- Guantes de protección frente a calor
- Sombreros de paja (aconsejables contra riesgo de insolación)

#### 34.2.3. Proyecciones de objetos y/o fragmentos

- Calzado con protección contra golpes mecánicos
- Casco protector de la cabeza contra riesgos mecánicos
- Gafas de seguridad para uso básico (choque o impacto con part. sólidas)
- Pantalla facial abatible con visor de rejilla metálica, con atalaje adaptado al casco

#### 34.2.4. Ambiente pulvígeno

- Equipos de protección de las vías respiratorias con filtro mecánico
- Gafas de seguridad para uso básico (choque o impacto con partículas sólidas)
- Pantalla facial abatible con visor de rejilla metálica, con atalaje adaptado al casco

#### 34.2.5. Aplastamientos.

- Calzado con protección contra golpes mecánicos
- Casco protector de la cabeza contra riesgos mecánicos

#### 34.2.6. Atmósferas tóxicas, irritantes

- Equipo de respiración autónomo, revisado y cargado
- Gafas de seguridad para uso básico (choque o impacto con partículas sólidas)
- Impermeables, trajes de agua
- Mascarilla respiratoria de filtro para humos de soldadura
- Pantalla facial abatible con visor de rejilla metálica, con atalaje adaptado al casco

#### 34.2.7. Atrapamientos

- Calzado con protección contra golpes mecánicos
- Casco protector de la cabeza contra riesgos mecánicos
- Guantes de protección frente a abrasión

#### 34.2.8. Caída de objetos y/o de máquinas

- Bolsa portaherramientas
- Calzado con protección contra golpes mecánicos
- Casco protector de la cabeza contra riesgos mecánicos

#### 34.2.9. Caída o colapso de andamios

- Cinturón de seguridad anticaídas
- Cinturón de seguridad clase para trabajos de poda y postes

#### 34.2.10. Caídas de personas a distinto nivel

- Cinturón de seguridad anticaídas
- Cinturón de seguridad clase para trabajos de poda y postes

#### 34.2.11. Caídas de personas al mismo nivel

- Bolsa portaherramientas
- Calzado de protección sin suela antiperforante

#### 34.2.12. Contactos eléctricos directos

- Calzado con protección contra descargas eléctricas
- Casco protector de la cabeza contra riesgos eléctricos
- Gafas de seguridad contra arco eléctrico
- Guantes dieléctricos.

#### 34.2.13. Contactos eléctricos indirectos

- Botas de agua

#### 34.2.14. Cuerpos extraños en ojos.

- Gafas de seguridad contra proyección de líquidos

- Gafas de seguridad para uso básico (choque o impacto con partículas sólidas)
- Pantalla facial abatible con visor de rejilla metálica, con atalaje adaptado al casco

#### 34.2.15. Exposición a fuentes luminosas peligrosas

- Gafas de oxicorte
- Gafas de seguridad contra arco eléctrico
- Gafas de seguridad contra radiaciones
- Mandil de cuero
- Manguitos
- Pantalla facial para soldadura eléctrica, con arnés de sujeción sobre la cabeza y cristales con visor oscuro inactivo
- Pantalla para soldador de oxicorte
- Polainas de soldador cobre-calzado
- Sombreros de paja (aconsejables contra riesgo de insolación)

#### 34.2.16. Golpe por rotura de cable

- Casco protector de la cabeza contra riesgos mecánicos
- Gafas de seguridad para uso básico (choque o impacto con partículas sólidas)
- Pantalla facial abatible con visor de rejilla metálica, con atalaje adaptado al casco

#### 34.2.17. Golpes y/o cortes con objetos y/o maquinaria

- Bolsa portaherramientas
- Calzado con protección contra golpes mecánicos
- Casco protector de la cabeza contra riesgos mecánicos
- Chaleco reflectante para señalistas y estrobadores
- Guantes de protección frente a abrasión

#### 34.2.18. Pisada sobre objetos punzantes

- Bolsa portaherramientas
- Calzado de protección con suela antiperforante

#### 34.2.19. Inundaciones.

- Botas de agua
- Impermeables, trajes de agua

#### 34.2.20. Vibraciones

- Cinturón de protección lumbar

#### 34.2.21. Sobre esfuerzos

- Cinturón de protección lumbar.

#### 34.2.22. Ruido

- Protectores auditivos.

#### 34.2.23. Vuelco de máquinas y/o camiones

#### 34.2.24. Caída de personas de altura

- Cinturón de seguridad anticaídas.

### 34.3. Protecciones especiales

#### 34.3.1. Generales

##### Circulación y accesos en obra

Se estará a lo indicado en el artículo 11 A del Anexo IV del R.D. 1627/97 de 24/10/97 respecto a vías de circulación y zonas peligrosas. Los accesos de vehículos deben ser distintos de los del personal, en el caso de que se utilicen los mismos se debe dejar un pasillo para el paso de personas protegido mediante vallas.

En ambos casos los pasos deben ser de superficies regulares, bien compactados y nivelados, si fuese necesario realizar pendientes se recomienda que estas no superen un 11% de desnivel. Todas estas vías estarán debidamente señalizadas y periódicamente se procederá a su control y mantenimiento. Si existieran zonas de acceso limitado deberán estar equipadas con dispositivos que eviten el paso de los trabajadores no autorizados.

El paso de vehículos en el sentido de entrada se señalizará con limitación de velocidad a 10 o 20 km/h y ceda el paso. Se obligará la detención con una señal de STOP en lugar visible del acceso en sentido de salida.

En las zonas donde se prevé que puedan producirse caídas de personas o vehículos deberán ser balizadas y protegidas convenientemente. Las maniobras de camiones y/u hormigonera deberán ser dirigidas por un operario competente, y deberán colocarse topes para las operaciones de aproximación y vaciado.

El grado de iluminación natural será suficiente y en caso de luz artificial (durante la noche o cuando no sea suficiente la luz natural) la intensidad será la adecuada, citada en otro lugar de este estudio. En su caso se utilizarán portátiles con protección antichoques. Las luminarias estarán colocadas de manera que no supongan riesgo de accidentes para los trabajadores (art. 9).

Si los trabajadores estuvieran especialmente a riesgos en caso de avería eléctrica, se dispondrá iluminación de seguridad de intensidad suficiente.

##### 34.3.1.1. Protecciones y resguardos en máquinas

Toda la maquinaria utilizada durante la obra, dispondrá de carcasas de protección y resguardos sobre las partes móviles, especialmente de las transmisiones, que impidan el acceso involuntario de personas u objetos a dichos mecanismos, para evitar el riesgo de atrapamiento.

##### 34.3.1.2. Protección contra contactos eléctricos

##### 34.3.1.3. Protección contra contactos eléctricos indirectos

Esta protección consistirá en la puesta a tierra de las masas de la maquinaria eléctrica asociada a un dispositivo diferencial. El valor de la resistencia a tierra será tan bajo como sea posible, y como máximo será igual o inferior al cociente de dividir la tensión de seguridad (Vs), que en locales secos será de 50 V y en los locales húmedos de 24 V, por la sensibilidad en amperios del diferencial(A).

##### 34.3.1.4. Protecciones contra contacto eléctricos directos

Los cables eléctricos que presenten defectos del recubrimiento aislante se habrán de reparar para evitar la posibilidad de contactos eléctricos con el conductor. Los cables eléctricos deberán estar dotados de clavijas en perfecto estado a fin de que la conexión a los enchufes se efectúe correctamente.

Los vibradores estarán alimentados a una tensión de 24 voltios o por medio de transformadores o grupos convertidores de separación de circuitos. En todo caso serán de doble aislamiento.

En general cumplirán lo especificado en el presente Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión.

### 34.3.2. Instalaciones eléctricas alta tensión

#### 34.3.2.1. Condiciones preventivas del entorno de la zona de trabajo

Se comprobará que están bien colocadas las barandillas, horcas, redes, mallazo o ménsulas que se encuentren en la obra, protegiendo la caída de altura de las personas en la zona de trabajo.

No se efectuarán sobrecargas sobre la estructura de los forjados, acopiando en el contorno de los capiteles de pilares, dejando libres las zonas de paso de personas y vehículos de servicio de la obra.

Debe comprobarse periódicamente el perfecto estado de servicio de las protecciones colectivas colocadas en previsión de caídas de personas u objetos, a diferente nivel, en las proximidades de las zonas de acopio y de paso.

El apilado en altura de los diversos materiales se efectuará en función de la estabilidad que ofrezca el conjunto.

Los pequeños materiales deberán acopiarse a granel en bateas, cubilotes o bidones adecuados, para que no se diseminen por la obra.

Se dispondrá en obra, para proporcionar en cada caso, el equipo indispensable al operario, una provisión de palancas, cuñas, barras, puntales, picos, tablones, bridas, cables, ganchos y lonas de plástico.

Para evitar el uso continuado de la sierra circular en obra, se procurará que las piezas de pequeño tamaño y de uso masivo en obra (p.e. cuñas), sean realizados en talleres especializados. Cuando haya piezas de madera que por sus características tengan que realizarse en obra con la sierra circular, esta reunirá los requisitos que se especifican en el apartado de protecciones colectivas.

Se dispondrá de un extintor de polvo polivalente junto a la zona de acopio y corte.

#### 34.3.2.2. Acopio de materiales paletizados

Los materiales paletizados permiten mecanizar las manipulaciones de cargas, siendo en sí una medida de seguridad para reducir los sobreesfuerzos, lumbalgias, golpes y atrapamientos.

- También incorporan riesgos derivados de la mecanización, para evitarlos se debe:
- Acopiar los palés sobre superficies niveladas y resistentes.
- No se afectarán los lugares de paso.
- En proximidad a lugares de paso se deben señalar mediante cintas de señalización.
- La altura de las pilas no debe superar la altura que designe el fabricante.
- No acopiar en una misma pila palés con diferentes geometrías y contenidos.
- Si no se termina de consumir el contenido de un palé se flejará nuevamente antes de realizar cualquier manipulación.

### Acopio de materiales sueltos

El abastecimiento de materiales sueltos a obra se debe tender a minimizar, remitiéndose únicamente a materiales de uso discreto.

- Los soportes, cartelas, cerchas, máquinas, etc., se dispondrán horizontalmente, separando las piezas mediante tacos de madera que aislen el acopio del suelo y entre cada una de las piezas.
- Los acopios se realizarán sobre superficies niveladas y resistentes.
- No se afectarán los lugares de paso.
- En proximidad a lugares de paso se deben señalar mediante cintas de señalización.

### 34.3.3. Instalaciones eléctricas baja tensión

#### 34.3.3.1. Condiciones preventivas del entorno en estructuras

Protección ya incluida en el presente estudio, véase más arriba.

#### 34.3.3.2. Acopio de material paletizado

Protección ya incluida en el presente estudio, véase más arriba.

#### 34.3.3.3. Acopio de materiales sueltos

Protección ya incluida en el presente estudio, véase más arriba.

### 34.4. Normativa a aplicar en las fases del estudio

#### 34.4.1. Normativa general

Exige el R.D. 1627/97 de 24 de Octubre la realización de este Estudio de Seguridad y Salud que debe contener una descripción de los riesgos laborales que puedan ser evitados, indicando a tal efecto las medidas preventivas adecuadas; relación de aquellos otros que no han podido evitarse conforme a lo señalado anteriormente, indicando las protecciones técnicas tendentes a reducir los y las medidas preventivas que los controlen. Han de tenerse en cuenta, sigue el R.D., la tipología y características de los materiales y elementos que hayan de usarse, determinación del proceso constructivo y orden de ejecución de los trabajos. Tal es lo que se manifiesta en el Proyecto de Obra al que acompaña este Estudio de Seguridad y Salud.

Sobre la base de lo establecido en este estudio, se elaborará el correspondiente Plan de Seguridad y Salud en el Trabajo (art. 7 del citado R.D.) por el Contratista en el que se analicen, estudien, desarrollen y complementen las previsiones contenidas en este estudio, en función de su propio sistema de ejecución de la obra o realización de las instalaciones a que se refiere este Proyecto. En dicho plan se recogerán las propuestas de medidas de prevención alternativas que el contratista crea oportunas siempre que se justifiquen técnicamente y que tales cambios no impliquen la disminución de los niveles de prevención previstos. Dicho plan deberá ser aprobado por el Coordinador de Seguridad y Salud en fase de ejecución de las obras (o por la Dirección Facultativa sino fuere precisa la Coordinación citada).

A tales personas compete la comprobación, a pie de obra, de los siguientes aspectos técnicos previos:

- Revisión de los planos de la obra o proyecto de instalaciones
- Replanteo
- Maquinaria y herramientas adecuadas

- Medios de transporte adecuados al proyecto
- Elementos auxiliares precisos
- Materiales, fuentes de energía a utilizar
- Protecciones colectivas necesarias, etc.

Entre otros aspectos, en esta actividad se deberá haber ponderado la posibilidad de adoptar alguna de las siguientes alternativas:

Tender a la normalización y repetitividad de los trabajos, para racionalizarlo y hacerlo más seguro, amortizable y reducir adaptaciones artesanales y manipulaciones perfectamente prescindibles en obra.

Se procurará proyectar con tendencia a la supresión de operaciones y trabajos que puedan realizarse en taller, eliminando de esta forma la exposición de los trabajadores a riesgos innecesarios.

El comienzo de los trabajos, sólo deberá acometerse cuando se disponga de todos los elementos necesarios para proceder a su asentamiento y delimitación definida de las zonas de influencia durante las maniobras, suministro de materiales, así como el radio de actuación de los equipos en condiciones de seguridad para las personas y los restantes equipos.

Se establecerá un planning para el avance de los trabajos, así como la retirada y acopio de la totalidad de los materiales empleados, en situación de espera.

Ante la presencia de líneas de alta tensión tanto la grúa como el resto de la maquinaria que se utilice durante la ejecución de los trabajos guardarán la distancia de seguridad de acuerdo con lo indicado en el presente estudio.

Se revisará todo lo concerniente a la instalación eléctrica comprobando su adecuación a la potencia requerida y el estado de conservación en el que se encuentra.

Será debidamente cercada la zona en la cual pueda haber peligro de caída de materiales, y no se haya podido apantallar adecuadamente la previsible parábola de caída del material.

Como se indica en el art. 8 del R.D. 1627/97 de 24 de Octubre, los principios generales de prevención en materia de seguridad y salud que recoge el art. 15 de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales, deberán ser tomados en consideración por el proyectista en las fases de concepción, estudio y elaboración del proyecto de obra y en particular al tomar las decisiones constructivas, técnicas y de organización con el fin de planificar los diferentes trabajos y al estimar la duración prevista de los mismos. El Coordinador en materia de seguridad y salud en fase de proyecto será el que coordine estas cuestiones.

Se efectuará un estudio de acondicionamiento de las zonas de trabajo, para prever la colocación de plataformas, torretas, zonas de paso y formas de acceso, y poderlos utilizar de forma conveniente.

Se dispondrá en obra, para proporcionar en cada caso, el equipo indispensable y necesario, prendas de protección individual tales como cascos, gafas, guantes, botas de seguridad homologadas, impermeables y otros medios que puedan servir para eventualidades o socorrer y evacuar a los operarios que puedan accidentarse.

El personal habrá sido instruido sobre la utilización correcta de los equipos individuales de protección, necesarios para la realización de su trabajo. En los riesgos puntuales y



esporádicos de caída de altura, se utilizará obligatoriamente el cinturón de seguridad ante la imposibilidad de disponer de la adecuada protección colectiva u observarse vacíos al respecto a la integración de la seguridad en el proyecto de ejecución.

Cita el art. 10 del R.D. 1627/97 la aplicación de los principios de acción preventiva en las siguientes tareas o actividades:

- a) Mantenimiento de las obras en buen estado de orden y limpieza
- b) Elección del emplazamiento de los puestos y áreas de trabajo, teniendo en cuenta sus condiciones de acceso y la determinación de vías de paso y circulación.
- c) La manipulación de los diferentes materiales y medios auxiliares.
- d) El mantenimiento, el control previo a la puesta en servicio y el control periódico de las instalaciones y dispositivos necesarios con el objeto de corregir los defectos que pudieran afectar a la seguridad y salud de los trabajadores.
- e) La delimitación y el acondicionamiento de las zonas de almacenamiento y depósito de los diferentes materiales, en particular los peligrosos.
- f) La recogida de materiales peligrosos utilizados.
- g) El almacenamiento y la eliminación de residuos y escombros.
- h) La adaptación de los diferentes tiempos efectivos a dedicar a las distintas fases del trabajo.
- i) La cooperación entre Contratistas, subcontratistas y trabajadores autónomos.
- j) Las interacciones o incompatibilidades con cualquier otro tipo de trabajo o actividad que se desarrolle de manera próxima.

#### 34.4.1.1. Protecciones personales

Cuando los trabajos requieran la utilización de prendas de protección personal, éstas llevarán el sello -CE- y serán adecuadas al riesgo que tratan de paliar, ajustándose en todo a lo establecido en el R.D. 773/97 de 30 de mayo.

En caso de que un trabajador tenga que realizar un trabajo esporádico en alturas superiores a 2 m y no pueda ser protegido mediante protecciones colectivas adecuadas, deberá ir provisto de cinturón de seguridad homologado según (de sujeción o anticaídas según proceda), en vigencia de utilización (no caducada), con puntos de anclaje no improvisados, sino previstos en proyecto y en la planificación de los trabajos, debiendo acreditar previamente que ha recibido la formación suficiente por parte de sus mandos jerárquicos, para ser utilizado restrictivamente, pero con criterio.

#### 34.4.1.2. Manipulación manual de cargas

No se manipularán manualmente por un solo trabajador más de 25 Kg. Para el levantamiento de una carga es obligatorio lo siguiente:

- Asentar los pies firmemente manteniendo entre ellos una distancia similar a la anchura de los hombros, acercándose lo más posible a la carga.
- Flexionar las rodillas, manteniendo la espalda erguida.
- Agarrar el objeto firmemente con ambas manos si es posible.

- El esfuerzo de levantar el peso lo debe realizar los músculos de las piernas.
- Durante el transporte, la carga debe permanecer lo más cerca posible del cuerpo, debiendo evitarse los giros de la cintura.

Para el manejo de cargas largas por una sola persona se actuará según los siguientes criterios preventivos:

- Llevará la carga inclinada por uno de sus extremos, hasta la altura del hombro.
- Avanzará desplazando las manos a lo largo del objeto, hasta llegar al centro de gravedad de la carga.
- Se colocará la carga en equilibrio sobre el hombro.
- Durante el transporte, mantendrá la carga en posición inclinada, con el extremo delantero levantado.
- Es obligatoria la inspección visual del objeto pesado a levantar para eliminar aristas afiladas.
- Es obligatorio el empleo de un código de señales cuando se ha de levantar un objeto entre varios, para aportar el esfuerzo al mismo tiempo. Puede ser cualquier sistema a condición de que sea conocido o convenido por el equipo.

#### 34.4.1.3. Manipulación de cargas con la grúa

En todas aquellas operaciones que conlleven el empleo de aparatos elevadores, es recomendable la adopción de las siguientes normas generales:

- Señalar de forma visible la carga máxima que pueda elevarse mediante el aparato elevador utilizado.
- Acoplar adecuados pestillos de seguridad a los ganchos de suspensión de los aparatos elevadores.
- Emplear para la elevación de materiales recipientes adecuados que los contengan, o se sujeten las cargas de forma que se imposibilite el desprendimiento parcial o total de las mismas.
- Las eslingas llevarán placa de identificación donde constará la carga máxima para la cual están recomendadas.
- De utilizar cadenas estas serán de hierro forjado con un factor de seguridad no inferior a 5 de la carga nominal máxima. Estarán libres de nudos y se enrollarán en tambores o polichas adecuadas.
- Para la elevación y transporte de piezas de gran longitud se emplearán palonniers o vigas de reparto de cargas, de forma que permita esparcir la luz entre apoyos, garantizando de esta forma la horizontalidad y estabilidad.
- El gruista antes de iniciar los trabajos comprobará el buen funcionamiento de los finales de carrera. Si durante el funcionamiento de la grúa se observara inversión de los movimientos, se dejará de trabajar y se dará cuenta inmediata a la Dirección Técnica de la obra.

#### 34.4.2. Disposiciones mínimas de seguridad y de salud que deberán aplicarse en las obras

Observación preliminar: las obligaciones previstas en la presente parte del anexo se aplicarán siempre que lo exijan las características de la obra o de la actividad, las circunstancias o cualquier riesgo.

En general se atenderán los siguientes aspectos:

- Estabilidad y solidez.
- Instalaciones de suministro y reparto de energía.
- Vías y salidas de emergencia.
- Detección y lucha contra incendios.
- Ventilación.
- Exposición a riesgos particulares.
- Temperatura.
- Iluminación.
- Muelles y rampas de carga.
- Disposiciones varias.
- Puertas de emergencia.
- Suelo, paredes y techos de los locales.
- Ventanas y vanos de iluminación cenital.
- Vías de circulación.
- Escaleras mecánicas y cintas rodantes.
- Caída de objetos.
- Caídas de altura.
- Factores atmosféricos.
- Andamios y escaleras.
- Vehículos y maquinaria para movimiento de tierras y manipulación de materiales.
- Instalaciones, máquinas y equipo.
- Movimientos de tierras, excavaciones, pozos, trabajos subterráneos y túneles.
- Instalaciones de distribución de energía.

#### 34.4.3. Instalaciones eléctricas alta y baja tensión

Entre otros aspectos, en esta actividad se deberá haber ponderado la posibilidad de adoptar alguna de las siguientes alternativas:

Tender a la normalización y repetitividad de los trabajos, para racionalizarlo y hacerlo más seguro, amortizable y reducir adaptaciones artesanales y manipulaciones perfectamente prescindibles en obra.

Se procurará proyectar con tendencia a la supresión de operaciones y trabajos que puedan realizarse en taller, eliminando de esta forma la exposición de los trabajadores a riesgos innecesarios.

Se efectuará un estudio de acondicionamiento de las zonas de trabajo, para prever la colocación de plataformas, torretas, zonas de paso y formas de acceso, y poderlos utilizar de forma conveniente.

En general las vallas o palenques acotarán no menos de 1 m el paso de peatones y 2 m el de vehículos.

Después de haber adoptado las operaciones previas (apertura de circuitos, bloqueo de los aparatos de corte y verificación de la ausencia de tensión) a la realización de los trabajos eléctricos, se deberán realizar en el propio lugar de trabajo, las siguientes:

##### 34.4.3.1. Verificación de la ausencia de tensión y de retornos

Puesta en cortocircuito lo más cerca posible del lugar de trabajo y en cada uno de los conductores sin tensión, incluyendo el neutro y los conductores de alumbrado público, si

existieran. Si la red conductora es aislada y no puede realizarse la puesta en cortocircuito, deberá procederse como si la red estuviera en tensión, en cuanto a protección personal se refiere.

Delimitar la zona de trabajo, señalizándola adecuadamente si existe la posibilidad de error en la identificación de la misma.

#### 34.4.3.2. Protecciones personales

Los guantes aislantes, además de estar perfectamente conservados y ser verificados frecuentemente, deberán estar adaptados a la tensión de las instalaciones o equipos en los cuales se realicen trabajos o maniobras.

En los trabajos y maniobras sobre fusibles, seccionadores, bornes o zonas en tensión en general, en los que pueda cebarse intempestivamente el arco eléctrico, será preceptivo el empleo de: casco de seguridad normalizado para A.T., pantalla facial de policarbonato con atalaje aislado, gafas con ocular filtrante de color ópticamente neutro, guantes dieléctricos (en la actualidad se fabrican hasta 30.000 V), o si se precisa mucha precisión, guantes de cirujano bajo guantes de tacto en piel de cabritilla curtida al cromo con manguitos incorporados (tipo taponero).

#### 34.4.3.3. Intervención en instalaciones eléctricas

Para garantizar la seguridad de los trabajadores y para minimizar la posibilidad de que se produzcan contactos eléctricos directos, al intervenir en instalaciones eléctricas realizando trabajos sin tensión; se seguirán al menos tres de las siguientes reglas (cinco reglas de oro de la seguridad eléctrica):

- El circuito es abrirá con corte visible.
- Los elementos de corte se enclavarán en posición de abierto, si es posible con llave.
- Se señalizarán los trabajos mediante letrero indicador en los elementos de corte.

### 34.5. Mantenimiento preventivo

#### 34.5.1. Vías de circulación y zonas peligrosas

- Las vías de circulación, incluidas las escaleras, las escaleras fijas y los muelles y rampas de carga deberán estar calculados, situados, acondicionado y preparados para su uso de manera que se puedan utilizar fácilmente, con toda seguridad y conforme al uso al que se les haya destinado y de forma que los trabajadores empleados en las proximidades de estas vías de circulación no corran riesgo alguno.
- Las dimensiones de las vías destinadas a la circulación de personas o de mercancías, incluidas aquellas en las que se realicen operaciones de carga y descarga, se calcularán de acuerdo con el número de personas que puedan utilizarlas y con el tipo de actividad. Cuando se utilicen medios de transporte en las vías de circulación, se deberá prever una distancia de seguridad suficiente o medios de protección adecuados para las demás personas que puedan estar presentes en el recinto. Se señalizarán claramente las vías y se procederá regularmente a su control y mantenimiento.
- Las vías de circulación destinada a los vehículos deberán estar situadas a una distancia suficiente de las puertas, portones, pasos de peatones, corredores y escaleras.
- Si en la obra hubiera zonas de acceso limitado, dichas zonas deberán estar equipadas con dispositivos que eviten que los trabajadores no autorizados puedan

penetrar en ellas. Se deberán tomar todas las medidas adecuadas para proteger a los trabajadores que estén autorizados a penetrar en las zonas de peligro. Estas zonas deberán estar señalizadas de modo claramente visible.

#### 34.5.2. Mantenimiento de la maquinaria y equipos

Colocar la máquina en terreno llano.

Bloquear las ruedas o las cadenas.

Apoyar en el terreno el equipo articulado. Si por causa de fuerza mayor ha de mantenerse levantado, deberá inmovilizarse adecuadamente.

Desconectar la batería para impedir un arranque súbito de la máquina.

No permanecer entre las ruedas, sobre las cadenas, bajo la cuchara o el brazo.

No colocar nunca una pieza metálica encima de los bornes de la batería.

No utilizar nunca un mechero o cerillas para iluminar el interior del motor.

Disponer en buen estado de funcionamiento y conocer el manejo del extintor.

Conservar la máquina en un estado de limpieza aceptable.

#### 34.5.3. Mantenimiento de la maquinaria en el taller de obra

- Antes de empezar las reparaciones, es conveniente limpiar la zona a reparar.
- No limpiar nunca las piezas con gasolina, salvo en local muy ventilado.
- No fumar.
- Antes de empezar las reparaciones, quitar la llave de contacto, bloquear la máquina y colocar letreros indicando que no se manipulen los mecanismos.
- Si son varios los mecánicos que deban trabajar en la misma máquina, sus trabajos deberán ser coordinados y conocidos entre ellos.
- Dejar enfriar el motor antes de retirar el tapón del radiador.
- Bajar la presión del circuito hidráulico antes de quitar el tapón de vaciado, así mismo cuando se realice el vaciado del aceite, comprobar que su temperatura no sea elevada.
- Si se tiene que dejar elevado el brazo del equipo, se procederá a su inmovilización mediante tacos, cuñas o cualquier otro sistema eficaz, antes de empezar el trabajo.
- Tomar las medidas de conducción forzada para realizar la evacuación de los gases del tubo de escape, directamente al exterior del local.
- Cuando deba trabajarse sobre elementos móviles o articulados del motor (p.e. tensión de las correas), éste estará parado.
- Antes de arrancar el motor, comprobar que no ha quedado ninguna herramienta, trapo o tapón encima del mismo.
- Utilizar guantes que permitan un buen tacto y calzado de seguridad con piso antideslizante.

#### 34.5.4. Mantenimiento de los neumáticos

- Para cambiar una rueda, colocar los estabilizadores.
- No utilizar nunca la pluma o la cuchara para levantar la máquina.
- Utilizar siempre una caja de inflado, cuando la rueda esté separada de la máquina.

- Cuando se esté inflando una rueda no permanecer enfrente de la misma sino en el lateral junto a la banda de rodadura, en previsión de proyección del aro por sobrepresión.
- No cortar ni soldar encima de una llanta con el neumático inflado.
- En caso de transmisión hidráulica se revisarán frecuentemente los depósitos de aceite hidráulico y las válvulas indicadas por el fabricante. El aceite a emplear será el indicado por el fabricante.

#### 34.5.5. Mantenimiento preventivo general

##### 34.5.5.1. Mantenimiento preventivo

El articulado y Anexos del R.D. 1215/97 de 18 de Julio indica la obligatoriedad por parte del empresario de adoptar las medidas preventivas necesarias para que los equipos de trabajo que se pongan a disposición de los trabajadores sean adecuados al trabajo que deba realizarse y convenientemente adaptados al mismo, de forma que garanticen la seguridad y salud de los trabajadores al utilizarlos.

Si esto no fuera posible, el empresario adoptará las medidas adecuadas para disminuir esos riesgos al mínimo.

Como mínimo, sólo deberán ser utilizados equipos que satisfagan las disposiciones legales o reglamentarias que les sean de aplicación y las condiciones generales previstas en el Anexo I.

Cuando el equipo requiera una utilización de manera o forma determinada se adoptarán las medidas adecuadas que reserven el uso a los trabajadores especialmente designados para ello.

El empresario adoptará las medidas necesarias para que mediante un mantenimiento adecuado, los equipos de trabajo se conserven durante todo el tiempo de utilización en condiciones tales que satisfagan lo exigido por ambas normas citadas.

Son obligatorias las comprobaciones previas al uso, las previas a la reutilización tras cada montaje, tras el mantenimiento o reparación, tras exposiciones a influencias susceptibles de producir deterioros y tras acontecimientos excepcionales.

Todos los equipos, de acuerdo con el artículo 41 de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales (Ley 31/95), estarán acompañados de instrucciones adecuadas de funcionamiento y condiciones para las cuales tal funcionamiento es seguro para los trabajadores.

Los artículos 18 y 19 de la citada Ley indican la información y formación adecuadas que los trabajadores deben recibir previamente a la utilización de tales equipos.

El constructor, justificará que todas las máquinas, herramientas, máquinas herramientas y medios auxiliares, tienen su correspondiente certificación -CE- y que el mantenimiento preventivo, correctivo y la reposición de aquellos elementos que, por deterioro o desgaste normal de uso, haga desaconsejarse su utilización sea efectivo en todo momento.

Los elementos de señalización se mantendrán en buenas condiciones de visibilidad y en los casos que se considere necesario, se regarán las superficies de tránsito para eliminar los ambientes pulvígenos, y con ello la suciedad acumulada sobre tales elementos.

La instalación eléctrica provisional de obra se revisará periódicamente, por parte de un electricista, se comprobarán las protecciones diferenciales, magnetotérmicos, toma de tierra y los defectos de aislamiento.

En las máquinas eléctricas portátiles, el usuario revisará diariamente los cables de alimentación y conexiones; así como el correcto funcionamiento de sus protecciones.

Las instalaciones, máquinas y equipos, incluidas las de mano, deberán:

- a) Estar bien proyectados y contruidos teniendo en cuenta los principios de la ergonomía.
- b) Mantenerse en buen estado de funcionamiento.
- c) Utilizarse exclusivamente para los trabajos que hayan sido diseñados.
- d) Ser manejados por trabajadores que hayan sido formados adecuadamente.

Las herramientas manuales serán revisadas diariamente por su usuario, reparándose o sustituyéndose según proceda, cuando su estado denote un mal funcionamiento o represente un peligro para su usuario (mangos agrietados o astillados).

#### 34.5.6. Instalaciones eléctricas alta tensión

Medidas preventivas de esta fase de obra ya incluidas en el epígrafe de medidas preventivas generales.

#### 34.5.7. Instalaciones eléctricas baja tensión

Medidas preventivas de esta fase de obra ya incluidas en el epígrafe de medidas preventivas generales.



**UNIVERSIDAD  
DE LA RIOJA**

# DISEÑO DE UNA CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE BOMBEO

Trabajo fin de máster

**Presupuesto**

Autor: **Óscar Herreros Sáenz**  
Máster universitario en Ingeniería Industrial  
Marzo de 2019, Logroño (La Rioja)

Tutores del trabajo:  
**Montserrat Mendoza Villena**, Departamento de Ingeniería Eléctrica.  
**Pedro María Lara Santillán**, Departamento de Ingeniería Eléctrica.



## Índice de contenidos

35. Desglose .....	244
36. Resumen del presupuesto.....	246
37. Presupuesto de ejecución material.....	247
38. Presupuesto de ejecución por contrata .....	248

## Índice de tablas

Tabla 25. Desglose del presupuesto	245
Tabla 26. Resumen del presupuesto	246
Tabla 27. Presupuesto de ejecución material	247
Tabla 28. Presupuesto de ejecución por contrata	248

## 35. Desglose

El presente presupuesto recoge principalmente los aspectos relativos a los elementos y aparatos dimensionados en el trabajo, de modo que los gastos de obra civil hacen referencia solo a los elementos constructivos de la central mencionados y/o diseñados.

Capítulo	Concepto	Precio unitario		Unidades	Precio parcial
1	Conjunto Turbina-Bomba				
1.1	Turbina reversible Francis de 500 rpm fabricada por General Electric según especificaciones del diseño.	800000,00	€/ud	4	3.200.000,00 €
Total capítulo 1					3.200.000,00 €
2	Conjunto motor-generator				
2.1	Máquina asíncrona reversible de 65 MW 13.8 kV y 500 rpm. Fabricada a diseño por general Electric según especificaciones y dispositivos complementarios.	125000,00	€/ud	4	500.000,00 €
Total capítulo 2					500.000,00 €
3	Transformadores				
3.1	Transformador principal 66/13,8 kV modelo "Transformador Aceite 150.0 MVA 69/13.8 kV CBC ONAF" de WEG.	250000,00	€/ud	2	500.000,00 €
3.2	Transformador equipos BT 13,8/0,40 kV modelo "Transformador Aceite 30.0 kVA 13.8/0.380 kV CST ONAN" de WEG.	22500,00	€/ud	1	22.500,00 €
3.3	Celda GIS 72,5 kV modelo “Gas-insulated switchgear type serie 8DN8” de Siemens.	1950000,00	€/ud	2	3.900.000,00 €
3.4	Celda 24 kV modelo "24kV ET1" de Eaton.	98000,00	€/ud	4	392.000,00 €
Total capítulo 3					4.814.500,00 €
4	Obra civil y aparamenta de la central				
4.1	Tubería forzada acero de 3.17 m de diámetro y 800 metro de longitud contando codos y bifurcaciones.	10000	€/m	800	8.000.000,00 €
4.2	Presa de hormigón de gravedad de 22 m de altura y demás obra.	22400000	€	-	22.400.000,00 €
4.3	Chimenea de equilibrio de 3.50 m de diámetro y altura 23 m.	2250	€/m	23	51.750,00 €
4.4	Toma de agua.	150000	€	-	150.000,00 €
4.5	Desagües.	3600	€/m	20	72.000,00 €
4.6	Sistema eléctrico y automatismos.	2700000	€/m	-	2.700.000,00 €
Total capítulo 4					33.373.750,00 €

<b>5</b>	<b><u>Conexionado y protecciones</u></b>				
<b>5.1</b>	Conductor AT Cu Eprotenax 630 mm2 de Prysmian.	13,87	€/m	10776	149.463,12 €
<b>5.2</b>	Tubos PVC conductores.	25,63	€/m	10776	276.188,88 €
<b><u>Total capítulo 5</u></b>					<b>425.652,00 €</b>

*Tabla 25. Desglose del presupuesto*

## 36. Resumen del presupuesto

Capítulo	Concepto	Precio
1	Conjunto Turbina-Bomba	3.200.000,00 €
2	Conjunto motor-generator	500.000,00 €
3	Transformadores	4.814.500,00 €
4	Obra civil y aparamenta de la central	33.373.750,00 €
5	Conexionado y protecciones	425.652,00 €
SUBTOTAL		42.313.920,00 €

Tabla 26. Resumen del presupuesto

### 37. Presupuesto de ejecución material

Capítulo	Concepto	Precio
-	Total ejecución material	42.313.920,00 €
<b>Total ejecución material</b>		<b>42.313.920,00 €</b>

*Tabla 27. Presupuesto de ejecución material*

El Presupuesto de Ejecución de Material del presente proyecto asciende a la cantidad de: CUARENTA Y DOS MILLONES TRESCIENTOS TRECE MIL NOVECIENTOS VEINTE EUROS Y CERO CENTIMOS (42.313.920,00 €).

### 38. Presupuesto de ejecución por contrata

Capítulo	Concepto	Precio
-	Total ejecución material	42.313.920,00 €
-	13% Gastos generales	5.500.807,26 €
-	6% Beneficio Industrial	2.538.834,12 €
	<b>Subtotal</b>	50.353.543,38 €
-	IVA 21%	10.574.244,11 €
	<b>Total ejecución material</b>	<b>60.927.787,49 €</b>

*Tabla 28. Presupuesto de ejecución por contrata*

El Presupuesto de Ejecución por Contrata del presente proyecto asciende a la cantidad de: SESENTA MILLONES NOVECIENTOS VEINTISIETE MIL SETECIENTOS OCHENTA Y SIETE EUROS Y CUARENTA Y NUEVE CÉNTIMOS (60.927.787,49 €).